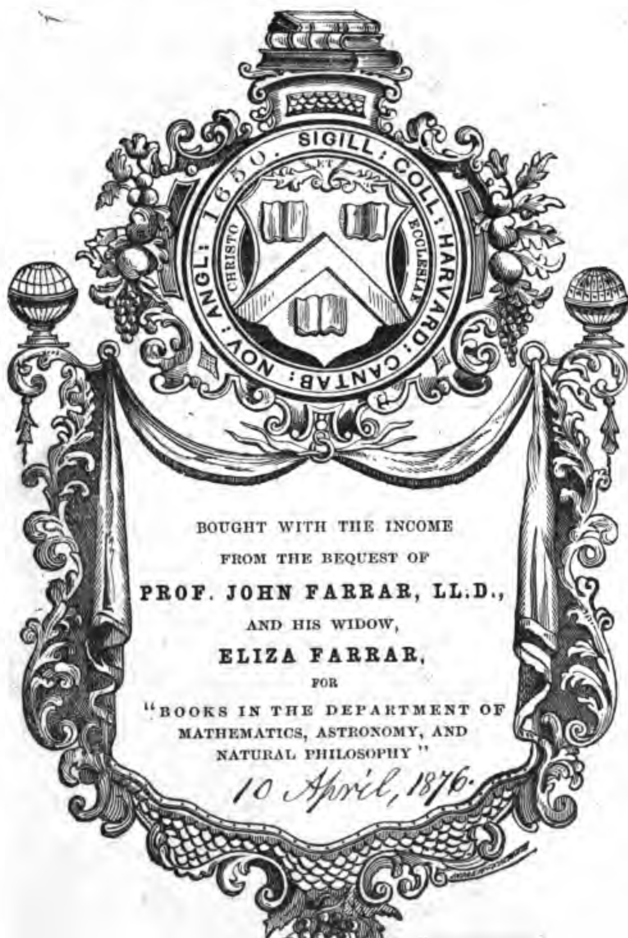



SIGILL: COLL: HARVARD: CANTAB: NOV: ANGL: 1650.
CHRISTO ET ECCLESIÆ



LES FLAMMES CHANTANTES



THÉORIE

DES VIBRATIONS

ET

CONSIDÉRATIONS SUR L'ÉLECTRICITÉ

LES FLAMMES CHANTANTES



THÉORIE

DES

VIBRATIONS

ET

CONSIDÉRATIONS SUR L'ÉLECTRICITE

PAR

FRÉDÉRIC KASTNER

TROISIÈME ÉDITION.

PARIS

E. DENTU, ÉDITEUR,
Palais-Royal. Galerie d'Orléans.

Eug. LACROIX, EDITEUR,
54, rue des Saints-Pères, 54,

1876

INTRODUCTION

La plus célèbre et la plus antique Association d'Angleterre « *The Royal Institution* » (L'Institution Royale), avait demandé à M. Frédéric Kastner de vouloir bien lui envoyer son nouvel instrument de physique et de musique, le *Pyrophone*, afin de pouvoir le décrire et l'expérimenter dans une séance qui a eu lieu, à Londres, à la *Royal Institution*, le 13 janvier 1875, séance dans laquelle l'illustre professeur Tyndall faisait entendre sa voix autorisée.

Peu après, la Société des Arts d'Angleterre, « *The Society of Arts*, » émit le vœu qu'une *Lecture* spéciale ou conférence fût donnée dans son grand amphithéâtre d'Adelphi, à Londres, et consacrée entièrement au Pyrophone de M. F. Kastner.

Cette réunion eut lieu le 17 février 1875, sous la présidence de M. le colonel Strange, membre du Conseil de la *Society of Arts*, M. Le Neve Foster étant secrétaire.

En présence d'une foule de notabilités scientifiques et musicales de l'Angleterre eurent lieu les expériences les plus intéressantes; et un appareil à treize branches à jets de flammes multiples, envoyé par M. F. Kastner, débuta en faisant entendre l'hymne national anglais : *God save the Queen*.

Quelques extraits de la traduction de cette conférence, donnée à la *Society of Arts*, feront le sujet de notre Préface.

Nous ajouterons qu'une nouvelle audition eut lieu à la *Royal Institution*, le 26 février 1875, et que l'invention de M. F. Kastner a éveillé les plus vives sympathies parmi les savants et la presse anglaise, de même qu'elle en avait déjà rencontré dans la presse française, ainsi qu'à l'Académie des Sciences de l'Institut de France.

L'ÉDITEUR.

Paris, Avril 1875.

PRÉFACE

« L'époque actuelle pourrait avec juste raison s'appeler : « les grands jours des arts et de l'industrie. » Aujourd'hui, les plus nobles produits de l'intelligence attestent partout le travail incessant de l'esprit humain.

« Les applications les plus inattendues des lois scientifiques sont constamment le résultat des efforts laborieux des savants.

« Notre siècle, qui a vu mettre en pratique les effets les plus remarquables des princi-

pes de la physique, tels que ceux de la vapeur, ceux de la propagation rapide de l'électricité, ceux de l'action de la lumière sur les substances chimiques, assistera encore à de nombreuses découvertes, susceptibles d'applications toujours utiles et intéressantes, et parfois fort originales.

« C'est à la science pure, à la physique, aux lois de l'acoustique que nous devons nous adresser pour rechercher l'origine de la découverte d'un des plus intéressants théorèmes d'acoustique qui était resté ignoré jusqu'à ce jour.

« On savait depuis longtemps qu'une flamme traversant un tube sous une certaine pression rendait un son musical.

« Sans compter les physiciens, comme Higgins, Scherer, Mussin-Puschkin, De Luc, Hermbstädt, Chladni qui, les premiers ont constaté ce phénomène, des savants français, anglais, allemands, suisses, autrichiens,

italiens, notamment G. de La Rive, Helmholtz, Martens, Zenneck, Brugnatelli, Böttger, Marx, Roger, Pisko, Sondhaus, Wheastone, Schaffgotsch, Faraday, Tyndall et beaucoup d'autres, se sont aussi préoccupés, à notre époque, des flammes chantantes au point de vue de la physique.

« Mais ce qui semble avoir entravé leurs efforts, c'est qu'ils se sont bornés à opérer sur une seule flamme.

« Considérant les flammes isolément, ils ont placé chacune d'elles dans un tube, au lieu d'opérer, comme l'a fait l'inventeur du Pyrophone, au moyen de plusieurs flammes conjuguées et introduites à la même hauteur, dans un même tube.

« L'éminent professeur Tyndall, pour lequel la plupart des questions ardues de la physique n'ont pas de secrets, avait étudié avec soin les flammes chantantes. Mais, on peut dire que celles-ci n'ont pénétré

dans le domaine de l'art musical que par suite de la découverte faite par M. Frédéric Kastner, du principe qui permet de les accorder et de les faire chanter à volonté sur tous les tons de l'échelle musicale ; d'en produire et d'en arrêter le son instantanément et mécaniquement, comme dans les instruments à clavier ; de régler ce son et de le modérer au besoin.

« C'est ainsi que le modeste harmonica chimique, le *lumen philosophicum* des physiciens comme on disait autrefois, a atteint dans le pyrophone le caractère d'un véritable instrument de musique : résultat qu'il semblait difficile et même impossible d'obtenir avant les expériences de M. Frédéric Kastner.

« Fort imparfait dans l'origine, rauque, beuglant ou détonant, le son des flammes chantantes ne s'est rapproché du son musical proprement dit qu'après des tâtonnements réitérés. Encore le son de la flamme

unique dans le tube, *le lumen philosophicum*, ne pouvait-il se produire musicalement en toute circonstance. Il fallait user parfois de divers procédés, comme par exemple l'appeler, le provoquer de la voix par l'émission d'un *son parent*, en rapport harmonique avec la note qu'il devait faire entendre.

« Le professeur Tyndall avait en effet reconnu que pour qu'une flamme rende un son musical, il faut que son volume soit tel qu'elle puisse faire explosion à l'unisson des ondulations du ton fondamental du tube ou de l'un de ses harmoniques. Il avait avancé en outre que, lorsque le volume de la flamme est trop grand, aucun son ne se produit; il le démontrait en augmentant l'écoulement du gaz. M. Tyndall avait aussi appelé l'attention sur ce fait, que, pour qu'une flamme puisse chanter avec son maximum d'intensité, il faut qu'elle occupe une certaine position dans le tube. Il le démontrait en faisant

varier la hauteur du tube sur la flamme; mais aucun physicien ne précisa les rapports de dimension qui doivent exister entre la flamme et le tube pour obtenir cette intensité maximum du son.

« Le mérite de M. Frédéric Kastner est d'avoir démontré que, lorsque deux ou plusieurs flammes sont introduites dans un tube, elles vibrent à l'unisson et produisent un son musical maximum lorsqu'on les place au tiers de la longueur du tube, et d'avoir démontré aussi qu'il suffit d'amener ces flammes au contact pour que toute vibration cesse aussitôt. M. F. Kastner prouve que ce phénomène est produit par l'interférence des flammes vibrantes.

« Le 17 mars 1873, M. le baron Larrey, membre de l'Académie des Sciences de Paris, présenta à l'Institut de France, au nom de M. F. Kastner, un premier mémoire dans

lequel le jeune physicien rendait compte des expériences qui l'ont conduit à l'invention du pyrophone et à la découverte du principe nouveau suivant :

« *Si dans un tube de verre ou d'autre matière, on introduit deux ou plusieurs flammes de grandeur convenable, et qu'on les place au tiers de la longueur du tube, comptée à partir de la base, ces flammes vibrent à l'unisson. Le phénomène continue de se produire tant que les flammes restent écartées, mais le son cesse aussitôt que les flammes sont mises au contact.* »

« M. F. Kastner fait observer dans son mémoire : que l'interférence des flammes chantantes ne se produit que dans des conditions spéciales ; qu'il est important de mettre la largeur des tubes en harmonie avec le nombre des flammes ; que la hauteur des flammes n'exerce qu'une action limitée sur ce phénomène ; que la forme des becs joue également un rôle fort important.

« Puis il ajoute :

« *L'ensemble des expériences que j'ai effectuées depuis deux ans m'a conduit, comme application, à la construction d'un instrument musical d'un timbre entièrement nouveau, se rapprochant de la voix humaine et auquel j'ai donné le nom de* Pyrophone. *Cet instrument se compose de trois claviers s'accouplant comme dans l'orgue ; chacune des touches du clavier est mise en communication, à l'aide d'un mécanisme fort simple, avec les conduits adducteurs des flammes dans les tuyaux de verre. Lorsqu'on presse sur ces touches, les flammes se séparent, et le son se produit aussitôt ; dès qu'on cesse d'agir sur les touches, les flammes se rapprochent et le son cesse immédiatement.*

« Un extrait du mémoire de M. Kastner contenant les principaux points énoncés ci-dessus fut inséré dans les *Comptes-rendus hebdomadaires de l'Académie des Sciences*

tome LXXVI, n° 11 (17 mars 1873), pages 699 et 700.

« La commission de l'Académie des Sciences de Paris, nommée à la suite de cette communication pour l'examen de cette remarquable invention, était composée de MM. Jamin, Regnault et Bertrand, trois membres distingués de cette Académie, qui ont manifesté un vif intérêt pour cette découverte au point de vue scientifique, surtout après avoir entendu dans des séances particulières une réduction du grand pyrophone.

« A ces séances se trouvaient également plusieurs autres membres de l'Institut, ainsi que des artistes qui, tous, furent unanimes à constater l'originalité de l'invention au point de vue scientifique, de même que le charme particulier des sons du pyrophone.

« On a observé avec raison que ces sons rappellent ceux de la voix humaine, et ceux

de la harpe d'Eole. Ils sont à la fois doux, puissants, pleins d'attraction et incisifs. Ils ont beaucoup de rondeur et de plénitude. On y remarque comme un souffle humain et passionné. Ils ont de plus, en général, un caractère de mélancolie qui semble être le propre de toutes les harmonies naturelles. Le père du jeune physicien, membre de l'Institut de France et auteur érudit, mort en 1867, traitant des harmonies cosmiques, insiste sur cette particularité :

« Les harmonies de la nature, dit-il, qui, dans leur grandeur terrible aussi bien que dans leur tristesse ineffable, ont, de tout temps, charmé le philosophe, le poète et l'artiste, sont, le plus souvent, empreintes d'un caractère de vague mélancolie, à l'influence duquel l'âme ne peut se soustraire. C'est surtout quand les bruits mondains s'apaisent ou sont tout à fait écartés, que ces harmonies puissantes produisent leurs effets les plus enivrants et les plus poétiques. »

« Ailleurs, il dit encore :

« ...L'expression d'indéfinissable mélancolie attachée aux harmonies cosmiques, semble le trait distinctif de tous les sons produits sans le concours immédiat de l'homme. Elle caractérise, par exemple, les sons de l'écho, les sons dits *harmoniques* et beaucoup d'autres qui rentrent dans le domaine de l'espèce de musique définie plus loin sous le nom de *musique chimique et sympathique*. Enfin, ce sont surtout les sons éoliens qui nous en offrent l'exemple le plus remarquable. »

« C'est en traitant, en effet, plus loin, dans l'ouvrage où se trouvent les lignes reproduites ci-dessus, que Georges Kastner est amené, par la nature de son sujet, à parler de l'harmonica chimique et des premières et vaines tentatives qu'on avait faites pour transporter cet appareil dans le domaine de l'art instrumental. Il ne se doutait pas qu'un jour son fils parviendrait à résoudre

ce difficile problème, et réussirait à courber, sous le joug de la discipline musicale, les flammes sonores, si hésitantes, si capricieuses et si rebelles, en général, aux mains des physiciens expérimentateurs.

« Le pyrophone, admis en 1873 à l'Exposition de Vienne, y excita une vive curiosité. « Un artiste, dit le *Journal officiel* de cette Exposition, peut en tirer des sons inconnus jusqu'à ce jour, imitant les voix humaines, avec un timbre mystique et susceptible de produire, dans la musique religieuse, les effets les plus merveilleux. »

« Les journaux et les revues de tous les pays ont été unanimes pour mentionner avec éloge le nouvel instrument, tant sous le point de vue musical que sous le point de vue scientifique. M. Henri de Parville, dans les *Causeries scientifiques*, accorda une large place à l'examen du phénomène des flammes chantantes, et constata que la mu-

sique au gaz avait fait ses débuts à l'Exposition de Vienne de 1873. *La Nature*, revue des sciences, rédigée par M. Gaston Tissandier, présume que le nouvel appareil est destiné à produire les effets les plus remarquables, les plus inattendus, au milieu des orchestres des théâtres lyriques et des grands concerts.

« Pour ses premières expériences, M. Kastner s'était servi de deux flammes provenant de la combustion du gaz hydrogène, s'échappant de becs convenablement construits ; mais, après de nouvelles recherches, il est parvenu à substituer le gaz d'éclairage ordinaire au gaz hydrogène pur dans le fonctionnement de son pyrophone.

« M. le baron Larrey, son ami, voulut bien être encore l'interprète, à l'Académie des Sciences, de ce perfectionnement qui simplifie beaucoup l'emploi de l'instrument musical lumineux, ainsi que le démontre fort bien l'inventeur du pyrophone, dans le

mémoire où il explique sa théorie, mémoire présenté à l'Institut de France le 7 décembre 1874.

« Lors d'une *Lecture* donnée à Londres, le 13 janvier 1875, par le professeur Tyndall, à la *Royal Institution*, des expériences ont été faites, conformément au nouveau principe, avec un appareil à neuf flammes conjuguées, qui a fonctionné durant la soirée dans des tubes de diverses grosseurs. Le célèbre physicien a mentionné avec éloge la découverte de M. Frédéric Kastner.

« Il est permis de penser que le pyrophone, à la faveur des perfectionnements qu'il a déjà subis dans la disposition et le jeu de son mécanisme, en raison surtout de la substitution du gaz d'éclairage au gaz hydrogène pur, aura, à l'avenir, une mission poétique à remplir dans la musique de concert comme dans la musique de théâtre. Des compositeurs distingués ont déjà porté

leur attention sur ce nouvel agent sonore. Gounod s'était proposé de l'introduire dans une des scènes de sa *Jeanne d'Arc*, mais l'inventeur n'avait pas terminé à cette époque le pyrophone de grande dimension qu'il eût fallu livrer pour une salle de théâtre; d'un autre côté, il n'avait pas encore trouvé le moyen de remplacer le gaz hydrogène par le gaz d'éclairage. Aussi dut-il refuser.

«On pourra, dans la suite, tirer un grand parti du pyrophone pour les églises, car on peut donner à l'instrument toutes les dimensions, depuis une octave jusqu'aux portées les plus étendues.

«Les rampes de théâtre elles-mêmes servant à l'éclairage peuvent être converties en un immense instrument musical.

« L'inventeur prépare un grand *lustre chantant*, qui pourra être placé comme instrument de musique, comme ornement et comme moyen d'éclairage dans le salon le plus fastueux. Ce lustre sera mû

au moyen de l'électricité, et un artiste pourra jouer dans une salle voisine du salon où se trouvera le lustre, de sorte que l'effet sera, pour ainsi dire, magique.

« Les becs chantants ont, dans cet instrument si nouveau, 5, 7, 9 et jusqu'à 12 flammes afférentes à un seul bec.

« L'avenir nous ménage d'autres surprises que le jeune savant tient encore en réserve. »

EXTRAIT DU JOURNAL DE LA SOCIÉTÉ DES ARTS D'ANGLETERRE. — *Londres*, 19 *février* 1875. N° 1,161 ; vol. XXIII. — *Tenth ordinary Meeting of the Society of Arts*).

L'ÉDITEUR.

PREMIÈRE PARTIE



LES

FLAMMES CHANTANTES

PREMIÈRE PARTIE

LES
FLAMMES CHANTANTES

Depuis le Dr Higgins (1) qui, en 1777, remarqua le premier le son d'une flamme vibrante pendant qu'il étudiait, au moyen de la combustion d'un faible courant de gaz hydrogène, la formation de l'eau dans un récipient de

(1) Higgins. Voy. Nicolson. *Journ. of Nat. Phil. New Ser.* I, p. 129; IV, p. 33. — *Ann. de chim.*, VIII, p. 363.

verre, jusqu'à Chladni qui, dans les dernières années du XVIIIe siècle, entreprit de défricher, comme il le dit lui-même, le champ jusque-là inculte de l'acoustique, l'étude des flammes chantantes fit peu de progrès.

Cependant les travaux de quelques physiciens, tels que le genevois De Luc (1), Hermbstädt (2) le comte Mussin Puschkin (3), avaient répandu la connaissance de ce fait en Allemagne et ailleurs.

Mussin Puschkin expliquait le son qui se produit en pareil cas comme le résultat de petites explosions rapides. Il n'admettait pas que les petites parties des parois du tube vibrassent de concert, puisqu'on pouvait à

(1) De Luc, dans ses *Neuen Ideen ueber Meteorologie*, I, p. 138, §. 200.

(2) Hermbstädt dans Crell's *Chem. Ann.*, 1793, I, p. 355.

(3) Mussin Puschkin. Voy. *Taschenbuch für Scheidekünstler* de Göttling, 1795, p. 18.

volonté envelopper le tuyau et le couvrir avec un corps étranger sans faire varier l'intonation.

Un autre physicien, Scherer, partageait son opinion sur le premier point ; mais il était d'avis de ne point rejeter l'hypothèse de la co-vibration des petites parties du tube. Il s'appliqua du reste à varier l'expérience de la délimitation de la colonne d'air au-dessus de la flamme en se servant alternativement de tuyaux ouverts aux deux bouts, ainsi que de tuyaux fermés d'un côté, de cucurbites et de flacons de formes très-diverses.

La hauteur du son obtenu à l'aide de ces divers récipients ne varia point, qu'ils fussent enveloppés ou non.

Scherer (1) admit dans la suite que la combustion du gaz a pour effet de produire un vide dans lequel l'air se précipite avec une grande force, ce qui détermine le son.

(1) Scherer. Voy. *Gren's Journ.*, VIII, p. 375. — *Gren's N. Journ.*, II, p. 506.

La méthode d'expérimentation, si ingénieuse et si sûre de Chladni, devait jeter un jour nouveau sur ce problème.

Dans la traduction française de son *Traité d'acoustique* (1), qu'il publia en 1809 et qu'il dédia à l'empereur Napoléon Ier, il posa en principe (§ 66) que le *son produit par la combustion du gaz hydrogène dans un tuyau* ne diffère pas du son des instruments à vent; puis il ajoute : « Le tuyau n'est pas le corps sonore, par les mêmes raisons qui font qu'un instrument à vent ne l'est pas non plus. Pour produire un tel son, on fait développer du gaz hydrogène par des moyens assez connus, dans une bouteille bouchée, d'où le gaz peut sortir par un tube de thermomètre ou de

(1) Chladni. *Traité d'acoustique*, Paris, Courcier, 1809. 1 vol. in-8°, p. 85 et suiv. — Voy. aussi Hindenburg, *Archiv des reinen und angew. Mathem.*, 1794, I, p. 126. — *Neue Schriften der Gesellschaft d. Nat. Fr.*, Berlin, 1795, I, p. 125. — *Die Akustik von* Chladni. Leipzig, 1802, p. 91 à 92 ; p. 307.

baromètre fixé dans le bouchon : on allume (avec les précautions nécessaires) le gaz sortant ; on tient alors sur cette flamme un tuyau de verre ou de métal bouché ou ouvert, d'un diamètre et d'une longueur arbitraire, ou une bouteille, une cornue ou un autre vase semblable, de manière que la flamme soit enfoncée jusqu'à une certaine distance de l'ouverture ; le son est assez semblable à celui de l'harmonica, mais quelquefois beaucoup plus fort. La flamme doit être petite et tranquille ; elle s'amincit sitôt que le son se fait entendre. Pour que la flamme soit ainsi disposée, et pour éviter que le tube par lequel le gaz sort ne se bouche pas par des vapeurs aqueuses condensées, il sera convenable de se servir d'un tube de baromètre un peu large dont on a rétréci à la lampe l'ouverture supérieure. Les lois des vibrations sont les mêmes pour ces sons que pour ceux des tuyaux d'orgue ; le courant du gaz hydrogène, la flamme et peut-être

aussi le courant d'air atmosphérique entrant de dessous, pour remplir le vide causé par l'absorption du gaz oxygène, tout cela contribue à produire dans l'air contenu dans le tuyau ou vase, des vibrations dans le sens de la longueur qui se font sentir assez fortement si l'on tient un doigt sous l'orifice inférieur du tuyau. Si l'extrémité supérieure du tuyau est bouchée, le son est d'une octave plus grave que si le même tuyau est ouvert aux deux extrémités : on peut donc hausser ou baisser le son en bouchant plus ou moins une des ouvertures par les doigts ou d'une autre manière. Le son est le même que si l'on souffle dans l'ouverture ; il est en raison des longueurs renversées des tuyaux, mais il ne dépend pas du diamètre. J'ai réussi quelquefois à produire aussi le deuxième son, et même le troisième dans un tuyau assez long et étroit, en enfonçant moins la flamme ; la série possible des sons est alors, comme dans les tuyaux d'orgue, égale

aux nombres impairs dans un tuyau bouché et aux nombres pairs dans un tuyau ouvert. »

Tel était, dans toute sa simplicité, du temps de Chladni, l'appareil des *flammes* ou plutôt *de la flamme chantante* qui, plus tard, s'est appelée *harmonica chimique*.

La théorie qu'en a donnée ce grand physicien a en partie servi de base aux explications qui furent présentées ultérieurement sur les causes de ce phénomène.

Chladni fit ses expériences avec des tuyaux de différentes longueurs et de différentes largeurs, comme aussi avec des tuyaux enveloppés de différentes matières. Ni les matières diverses servant d'enveloppe à ces tuyaux, ni leur différence de diamètre ne parurent influer sur la hauteur du son.

Chladni donne encore dans son précieux traité (§ 67) les résultats de quelques expériences qu'il fit à Vienne, aidé du professeur de Jacquin, sur les sons de différentes espè-

ces de gaz dont le même tuyau d'orgue était rempli et environné.

Ces expériences ne l'avaient pas entièrement satisfait ; il les qualifie modestement d'imparfaites et parle de la nécessité de les répéter avec plus d'exactitude, ce que plusieurs ont tenté de nos jours.

En 1808, G. de La Rive (1), pour expliquer le phénomène du chant de la flamme, avança que la vapeur formée par la combustion de l'hydrogène se condense sur les parois froides du tube. Quand cette condensation a eu lieu, l'air rentre brusquement par les extrémités de ce tube pour être de nouveau refoulé par la vapeur qui se reforme. Celle-ci se condensant à son tour, le même effet se reproduit et le mouvement vibratoire qui en résulte à l'orifice du tube provoque le son.

(1) De La Rive. Voy. *Journ. de phys.*, LV, p. 165.

Cette explication fut réfutée par Faraday, en 1818 (1). Il montra que le son se produit encore quand le tube est porté à plus de 100°, c'est-à-dire à un degré où il ne peut plus être question de la condensation de la vapeur.

A l'appui de cette remarque, Faraday faisait valoir le résultat d'une expérience où il avait produit des sons avec l'oxyde de carbone qui brûle sans donner de vapeur d'eau.

Il est vrai que G. de La Rive avait fait une autre expérience qu'il aurait pu citer également pour justifier son explication, c'est celle du son dans les *tubes à boule* (2).

Quand on fait chauffer dans la flamme d'une lampe à alcool une boule de verre soufflée à l'extrémité d'un tube capillaire, et contenant quelques gouttes d'eau, on entend un son musical semblable à celui de l'harmonica chimique. Plus la boule est grosse, le tuyau long et étroit, plus le ton

(1) Faraday. *Ann. de chim.*, VIII, p. 363.

(2) Cf. Daguin. *Physique*, 2e éd., I, p. 456.

est grave. La vapeur en s'échappant se condense sur les parois froides du tube, de manière à laisser un vide dans lequel l'air extérieur se précipite avec violence.

Chassé de nouveau par la vapeur qui s'est reformée, il opère sa brusque rentrée dès que la vapeur s'est encore une fois condensée, et ainsi de suite. A l'eau employée dans cette expérience on peut substituer l'éther, l'alcool ou l'acide sulfurique concentré. Avec une grande quantité de liquide, il se produit trop de vapeur. Le tuyau s'échauffe et le phénomène ne peut se produire. Quand tout le liquide est évaporé, le phénomène cesse, mais il se reproduit dès que la caléfaction recommence, alors que la vapeur condensée s'est écoulée après le refroidissement dans la boule.

A. Pinaud (1), a confirmé l'explication donnée par G. de La Rive, attendu qu'une

(1) August Pinaud, dans les Annales de Poggendorff, *Pogg. Ann.*, 1837, XLII, p. 610 à 618.

boule dont l'intérieur est bien sec ne donne aucun son. Marx (1) et Sondhaus (2) ont pourtant montré comme Faraday, que la présence de la vapeur n'est pas absolument nécessaire pour faire parler l'harmonica chimique.

Le premier veut que le son résulte des secousses que l'air échauffé qui s'échappe exerce sur l'air extérieur, ce qui a beaucoup d'analogie avec ce qui se passe pour les trous de la Sirène. D'après Sondhaus, le phénomène dans ces boules et tuyaux chauffés doit être rapporté au mode de la génération du son dans les tuyaux fermés, avec cette différence qu'ici l'air, au lieu d'être condensé, est raréfié. La présence de vapeurs denses

(1) C. Marx, dans Erdmann, *Journ. für prakt. Chemie*, 1841, XXII, p. 129 à 135. — Marbach, *Phys. Lexik.* 2 Aufl. III, p. 691 et 693.

(2) G. Sondhaus, dans *Pogg. Ann.*, 1850, LXXIX, p. 1 à 34. — Marbach. *Phys. Lexik.* 2 Aufl., III, p. 692 et 693.

d'eau, d'esprit-de vin et dans un moindre degré d'éther, favorise la disposition de la flamme à chanter. Sondhaus a même obtenu un son au moyen des vapeurs de mercure. On peut toucher, ébranler le verre aux endroits que l'on veut, sans que le son change. Les vibrations du verre ne sont donc pas la cause efficiente du son.

Emsmann (1) est arrivé aux mêmes résultats que Marx et Sondhaus. Ces deux derniers et Pinaud ont, en outre, cherché à établir les conditions déterminantes de la hauteur du son.

Le Dr Pisko (2), dans son ouvrage sur les nouveaux appareils d'acoustique, ditqu'il s'est livré à des recherches analogues, en sorte qu'il a pu constater sous tous les rap-

(1) Emsmann. Voy. Ann. de Poggendorff, *Poggend. Ann.* 1840, LI, p. 444.

(2) Pisko (Dr Fr.-Jos.). *Die neueren Apparate der Akustik*. Wien, 1865, 1 vol. in-8°, p. 188 et suiv.

ports l'exactitude des premières expériences de Chladni.

« J'employai, dit-il, d'étroits tubes de verre courbés à leurs extrémités avec un petit élargissement en forme de boule (d'environ 12 millimètres).

« Quand, au moyen d'une allumette que j'avais introduite par l'orifice supérieur d'un tuyau de verre d'environ 4 millimètres, j'avais faiblement mouillé cette partie à l'intérieur, puis échauffé la boule du tuyau en le plaçant sur une flamme d'esprit-de-vin, un son très-fort se faisait entendre et se prolongeait longtemps après que le tuyau avait été éloigné du foyer de la chaleur. Mais si l'on mouillait trop le tube intérieurement, soit dans sa paroi supérieure, soit à sa base, je n'obtenais aucun son des tuyaux. »

Faraday n'apporta pas moins de soin à ses expériences. Il les varia de mille façons, tant par rapport aux flammes que par rap-

port aux tubes. Il employa avec succès tous les gaz inflammables, aussi bien que les vapeurs d'alcool et d'éther. Il plaça tour à tour sur les flammes des vases de formes, de matières et de grandeurs très-variées. Il constata que le son éclatait, dès que le courant d'air pouvait se produire autour de la flamme.

Il expliqua le phénomène par des explosions se succédant très-rapidement. Il remarqua d'abord qu'il se produit un courant d'air ascendant qui rend la flamme plus étroite, et cela d'autant plus que le courant d'air est plus rapide.

L'oxygène de ce courant se mêle avec l'hydrogène qui n'est pas encore entré en combustion. Ce mélange de force se renouvelle un instant après, et les explosions successives sont assez rapprochées les unes des autres pour qu'il se produise un son. On peut obtenir le même résultat avec tous les gaz facilement combustibles, ainsi qu'avec

les vapeurs, mais c'est l'hydrogène qui se présente sous les conditions les plus favorables, parce qu'il donne le plus de chaleur et qu'il s'éteint le plus difficilement sous l'action du courant d'air.

Faraday rapproche l'espèce de roulement qui se manifeste quand on souffle à travers une flamme de celui qui se produit dans le discours parlé. On l'explique comme étant le résultat d'une suite de petites explosions très-rapides provenant de la détonation du mélange qui se forme entre le gaz non encore brûlé et l'air lancé au milieu de la masse. Martens (1) croit que ce mélange détonant se trouve dans le tube un peu au-dessus de la flamme. Si en effet, conformément à une de ses expériences, on introduit dans le tube une toile métallique de Davy à cet endroit, de façon qu'elle ne soit pas à une distance de plus de deux millimètres

(1) V. Daguin, *Physique*; 2e Ed. I., p. 456.

de la flamme, le son ne se produit plus; tandis qu'il reparaît, d'abord faible, puis éclatant, dès qu'on soulève peu à peu le tube et que la toile s'éloigne.

Davy (1) lui-même plongea une de ses lampes de sûreté dans un mélange gazeux explosif et il obtint ainsi un son produit par les détonations rapides des portions du mélange qui pénétraient dans la lampe à travers la toile.

Faraday introduisit une grande variété dans ses expériences et opéra, en général, avec tous les gaz inflammables, voire même avec les vapeurs d'éther et d'alcool.

Avant Faraday, Zenneck (2) publia un important travail sur l'harmonica chimique; il y joignit une table usuelle principalement relative aux dimensions des tuyaux et aux sons qui leur sont propres. Il se servit aussi

(1) Voy. Daguin, *Physique;* 2e Ed. I., p. 45.
(2) Zennek. Voy. *Schweigger's Journ.* XIV., p. 14.

de tubes percés de trous latéraux se fermant à volonté comme ceux de la flûte, et il obtint de la sorte une série d'intonations différentes.

J'ai proposé une disposition analogue pour les tubes de mes flammes multiples dans la seconde note que j'ai eu l'honneur de présenter à l'Institut de France, sans savoir que cette disposition avait déjà été appliquée dans les recherches de Zenneck, ce fait n'étant venu à ma connaissance que lorsque je pris des notes pour tracer cet historique, c'est-à-dire tout récemment.

Pour faire chanter l'harmonica chimique, Brugnatelli (1) y brûla aussi du phosphore, et Pictet (2) étudia l'état vibratoire de la masse d'air contenue dans le tube au moyen des mouvements de colonnes de fumée.

(1) Brugnatelli ap. *Gehlers neu bearb. physik. Lex.* V. 2 *Abth.* p. 101 et 102.

(2) Pictet. Id., *ibid.*

Wheastone fut le premier qui eut l'idée d'observer les diverses phases de l'état de la flamme, mais, avant lui Tromsdorf avait déjà fait remarquer que celle-ci s'allonge et revêt la forme conique aussitôt qu'elle commence à chanter. Ce fut en 1834, en calculant la vitesse de l'électricité dans un fil de cuivre, que Wheastone fit sa première analyse optique de la flamme vibrante. Il laissa tomber l'image d'une flamme de gaz hydrogène sur le miroir de son appareil pendant un vif mouvement de rotation imprimé à ce miroir, et il obtint ainsi un cercle lumineux. Mais à peine eut-il appliqué un tuyau sur la flamme et formé par là un harmonica chimique, qu'il observa dans le miroir en rotation des interruptions dans la période d'intensité de la flamme, lesquelles concordaient avec les vibrations. Dès l'année 1857, le célèbre professeur Tyndall tira un grand parti de ce fait, qui avait passé presque inaperçu, et ses belles expériences,

aujourd'hui mentionnées dans les principaux traités de physique, ont largement contribué à augmenter l'intérêt de cette branche particulière de l'étude des flammes chantantes.

Il analysa tout d'abord l'image optique de la flamme et la compara à celle que donne le scintillement d'une étoile fixe.

« Les étoiles fixes, dit-il, surtout celles voisines de l'horizon, ont une lumière vacillante dont la couleur varie quelquefois dans l'acte de ce qu'on appelle leur scintillation.

« J'ai souvent observé la nuit, sur les plateaux des Alpes, les éclairs alternatifs de rubis et d'émeraude qui jaillissaient des étoiles les plus brillantes et les moins élevées au-dessus de l'horizon. Placez un miroir dans une position telle, que vous puissiez y voir l'image d'une de ces étoiles, et faites le tourner rapidement à droite et à gauche ; la ligne lumineuse formée par l'image de l'étoile ne sera pas continue ; elle formera

un ruban de grains de chapelet ou de perles colorées d'une extrême beauté. Vous obtiendrez le même effet si vous regardez l'étoile avec une lorgnette d'opéra que votre doigt anime d'un mouvement oscillatoire. Cette expérience nous apprend que, dans l'acte de la scintillation, la lumière de l'étoile est éteinte par intervalles successifs, les espaces obscurs qui séparent les grains brillants correspondant aux périodes d'extinction. Or, nos flammes sonores sont aussi des flammes scintillantes. Lorsqu'elles commencent à chanter elles sont agitées, d'un frémissement sensible, qu'il est facile d'analyser par le mouvement d'un miroir ou d'une lorgnette, comme dans le cas d'une étoile.

« Je regarde, en effet, la flamme avec cette petite lorgnette, à laquelle j'imprime des oscillations telles que l'image décrive un cercle entier; la bande lumineuse n'est pas continue comme elle devrait l'être si la

flamme était parfaitement stable; elle se résout en une belle couronne de flammes distinctes. (1) »

Il suffisait que le savant expérimentateur appliquât sa main contre l'extrémité inférieure du tube, de manière à intercepter le courant d'air déterminant les vibrations de la flamme pour que les oscillations du miroir ne fissent plus naître qu'une bande lumineuse continue.

En examinant attentivement avec l'aide du miroir tournant une petite flamme chantante de gaz d'éclairage ou plutôt la série discontinue des images de la flamme projetée sur l'écran, M. le professeur Tyndall

(1) J. Tyndall. *Le Son.* Cours expérimental fait à l'Institution Royale, traduit de l'anglais par l'abbé Moigno. Paris. Gauthier-Villars, 1869. 1 vol. in-8, p. 236-238. — *Sound: a Course delivered at the Royal Institution of Great Britain.* Seconde édition. London; Longmans, Green, and Co., 1869., in 8. Lect. VI. *Harmonic Sounds of flames.*

constata que chacune d'elles se compose d'une pointe jaune portée par une base du bleu le plus riche. Dans ces images discontinues, les espaces entre les flammes étaient absolument obscurs pour l'œil. Cependant il ne tient pas cette obscurité pour réelle et il la considère comme une très-faible fluorescence due à la lumière bleue de l'oxyde de carbone, tandis que, dans les phases d'explosions successives, le carbone est entièrement éliminé par le fait de l'activité de la combustion.

Dans ses expériences si complètes et toujours décrites d'une façon si attachante par l'illustre physicien, aucun des phénomènes qui ont été reconnus susceptibles de modifier les images de la flamme, diversement impressionnée, sonore ou muette, vibrante ou au repos, n'a été oublié.

Aussi le fait si curieux de l'influence d'un son ou d'un bruit extérieur sur l'harmonica chimique a-t-il vivement excité l'attention

de Tyndall, comme celle du comte de Schaffgotsch, et c'est presque simultanément que ces deux célèbres physiciens ont parcouru ce nouveau champ d'observation.

Mais laissons parler le professeur Tyndall: « La première observation acoustique dont les flammes devinrent l'objet, dit-il, fut celle faite à Berlin par M. le comte Schaffgotsch. Il montra que lorsqu'une flamme de gaz ordinaire est surmontée d'un tube assez court, une forte voix de fausset, chantant à l'unisson de la note du tube ou de son octave supérieure, faisait trembler et vibrer la flamme. Il arrivait même que la voix éteignait la flamme, lorsque le ton du son rendu par le tube était assez élevé.

« Au printemps de 1857, cette expérience vint à ma connaissance et je voulus aussitôt la répéter. Dans le compte-rendu très-sommaire de l'observation, publié dans les *Annales de Poggendorff*, on n'avait nullement

indiqué la manière d'opérer; mais en étudiant attentivement les conditions de succès, je constatai un certain nombre d'effets singuliers qui captivèrent fortement mon attention. M. le comte Schaffgotsch poursuivait, de son côté, ses recherches, et sans nous être concertés, tout à fait à l'insu l'un de l'autre, nous marchions sur le même terrain. Je reconnais toutefois que la priorité de ce qu'il y a de commun dans les expériences que nous faisions alors simultanément appartient à M. le comte Schaffgotsch. »

Le professeur Tyndall, répétant la première expérience du comte de Schaffgotsch, fit brûler un petit jet de gaz dans un tube dont le son avait été déterminé d'avance. Il se tint, à quelque distance de la flamme, et fit entendre le son que pouvait rendre le tube. La flamme s'agita et chanta; il donna plus de force à sa voix et la flamme s'éteignit. Pour obtenir l'extinction de la flamme, le professeur Tyndall recommande de re-

courir à un bec ou brûleur qui ne laisse passer le gaz que par une ouverture très-étroite et sous une pression considérable.

La même expérience peut avoir lieu avec la sirène dont on fait monter le son graduellement jusqu'à ce qu'il ait atteint le ton donné par le tube où s'agite aussi graduellement, sous l'impression de cette émission, la flamme qu'on va faire chanter. Lorsque le son engendré par la sirène est près d'être à l'unisson de celui de la flamme, des battements se produisent et la flamme se met à danser synchroniquement avec ces battements. Ces soubresauts diminuent aux approches de l'unisson ; ils cessent totalement quand l'unisson devient parfait; à ce moment la flamme semble être dans un état de quiétude : elle ne bouge pas; mais dès que la sirène a dépassé l'unisson, les sauts de la flamme recommencent, et coïncident avec les battements.

Dans le cours de ses expériences, le pro-

fesseur Tyndall dit qu'il eut un jour l'occasion de constater que lorsqu'il élevait convenablement la voix, une flamme silencieuse jusqu'alors au sein de son tube commençait à chanter. Il interrompait son chant où il émettait de nouveau la note sensible, plusieurs fois alternativement la flamme lui répondait toujours en chantant à l'unisson. Il ajoute que le même fait avait été observé peu de temps auparavant par M. le comte Schaffgotsch sans qu'il en eût eu connaissance. Oserai-je dire, après avoir cité ces grands noms, qu'en agençant et en accordant les tubes de mon pyrophone, j'ai eu assez souvent l'occasion de remarquer cet effet particulier.

Bien mieux, il arriva qu'un jour un de mes amis qui se tenait accoudé à un pyrophone dont les tubes lumineux étaient accordés, mais au repos, fut étrangement surpris d'entendre une note pure et bien timbrée surgir tout à coup du sein des flammes

sans que rien en apparence eût provoqué cette subite émission de sonorité. Il ne s'était pas aperçu qu'en causant avec animation, il avait un peu élevé la voix et qu'une de ses intonations avait rencontré celle d'un des tubes, en sorte que la flamme de ce tube, comme si elle avait été interrogée, avait répondu à l'unisson sans attendre qu'une pression de la touche destinée à lui accorder la parole, l'y eût invitée.

Cette extrême sensibilité des flammes aux vibrations isochrones extérieures m'avait créé quelques difficultés dans les commencements.

Suivant le professeur Tyndall, si l'on installait sur des flammes convenables une série de tubes propres à rendre tous les sons de la gamme, et si, placé à la distance de 20 à 30 mètres, un musicien chantait la gamme, il appellerait successivement à l'existence chacun des sons des tubes, et la série entière des flammes finirait par chanter.

Lorsqu'on regarde dans un miroir tournant une flamme silencieuse capable d'être excitée, comme il vient d'être dit, on n'aperçoit qu'une bande lumineuse continue. « On ne peut rien voir de plus beau, ajoute avec enthousiasme le grand physicien anglais à qui j'emprunte ces lignes, que la transformation subite de ce ruban continu en un collier de perles très-lumineuses, à l'instant même où la voix entonne la note sensible. »

Du reste, Tyndall, dans toutes ses expériences, a reconnu l'exactitude de la théorie de Chladni. Il constate que la hauteur du son de l'harmonica dépend, comme pour les tuyaux d'orgue ordinaires, de la longueur de ces tuyaux. Avec des tuyaux d'égale longueur, ce sont les dimensions de la flamme et l'endroit où celle-ci est placée dans le tube qui déterminent l'apparition de la note fondamentale ou d'un de ses harmoniques supérieurs. Ceux-ci sont produits par le rac-

courcissement ou le déplacement de la flamme dans le tube.

Dans les expériences qu'il fit en 1843 et en 1857, le professeur Schrœtter, observa que la flamme d'hydrogène de son harmonica chimique était colorée de deux façons: à l'intérieur elle avait l'aspect d'une flamme bleue, laquelle était visible dans l'obscurité, et à l'extérieur c'était une flamme jaune. Il fonda sur ce phénomène et sur la production du son qui l'accompagne une théorie particulière. Il pensa qu'il se forme dans l'harmonica, à cause de la chaleur produite par la flamme, un courant d'air qui augmente la vitesse de l'écoulement du gaz et qui provoque, dans une période d'écoulement, une raréfaction du gaz. Il s'ensuit que l'air atmosphérique est aspiré, pompé contre l'embouchure et que la flamme brûle au-dedans. La recombustion semble constante; c'est comme un état vibratoire intérieur et un état vibratoire ex-

térieur de la flamme, mais, en raison de sa durée, ce phénomène produit sur la rétine l'effet d'une action continue et simultanée de deux flammes distinctes, l'une bleue, l'autre jaune. L'hypothèse fondée sur le principe traumatique du choc ascensionnel de la flamme s'explique, d'après le professeur Schrœtter, par le rôle de la flamme bleue, sorte d'amorce, de pompe aspirante du gaz dans le récipient. En raison de la forte pression intérieure du gaz et de l'action du courant d'air extérieur, la flamme s'élève, et le jeu recommence. La flamme bleue se comporterait ici comme les pièces de l'embouchure des tuyaux d'orgue à l'effet de provoquer le son.

D'après ce physicien, tout ce qui entrave la combustion de la flamme bleue empêche toute manifestation sonore. Il crut en avoir acquis une preuve concluante par l'impossibilité où il se trouva de faire parler l'harmonica chimique au moyen du gaz sulfhydri-

que (1). Cependant Sondhaus (2) obtint ces sons au moyen de ce gaz. Il est vrai que ce ne fut pas sans peine. Le professeur Schrœtter qui, dans la suite, renouvela sa tentative, réussit également à faire chanter le gaz sulfhydrique par un procédé particulier.

En 1858, Grailich et Weiss considérèrent le fait précédent comme n'ayant aucune importance sur la production du son. A leur point de vue, il ne s'agit là que d'un phénomène secondaire, dépendant surtout de la grandeur de l'orifice du tube sonore, comme aussi de l'intensité et de la hauteur du son. Dans leurs études sur les différents aspects des flammes chantantes, les deux physiciens obtinrent une série d'images de flammes déliées, qui semble les avoir confirmés dans l'opinion émise par eux que la

(1) Cf., *Wien. acad. Ber.*, 1857, XXIV, pag. 18 à 22. — *Ann. d. chim.*, 3, R. LIII, pag. 240 à 241. — *Berl. Ber. für* 1857; XIII. pag. 180.

(2) Ap. *Pogg. Ann.*, 1860, CIX, pag. 445.

flamme vibrante n'est point *discontinue*, mais qu'elle procède sans interruption, dans ses différentes phases vibratoires, de manière à présenter dans son ensemble l'image d'un zigzag lumineux. Ils en ont tiré cette conclusion que la cause des sons produits par l'harmonica chimique ne réside pas dans une suite d'explosions rapides, mais qu'il faut plutôt la chercher dans les changements importants et prolongés de volume qui se produisent pendant la combustion, attendu que les produits de la combustion du gaz sont plus denses que les gaz en liberté; et ces différences de volume, aussi bien que des explosions successives, provoquent dans le tube sonore de l'harmonica une agitation qui détermine des mouvements vibratoires, lesquels se convertissent bientôt en périodes régulières de vibration. Ils ajoutent que le courant d'air n'est probablement pas étranger non plus à ce résultat (1).

(1) Cf., Grailich et Weiss, Ap. *Wien. acad.*

L'action vibratoire a été étudiée non-seulement par le moyen de colonnes de fumée, — comme l'a fait d'abord Pictet, ensuite le comte Schaffgostch qui se servit, à cet effet, d'une pastille à brûler incandescente, — mais on a su rendre visibles les oscillations de jets de gaz hydrogène en recourant à des brûleurs faits d'éponges de platine rougies comme dans le feu d'artifice de Doberein. On constata, à cette occasion, que les seuls bruits qui firent impression sur l'harmonica furent ceux qui contenaient un *ton parent* du tube sonore. Enfin on expérimenta encore par une autre méthode consistant à employer une seconde flamme plus petite que la première et mobile. On n'en saurait faire usage si le tube qui la porte n'est pas placé dans une position horizontale, car elle serait éteinte par la force du

Ber. 1858, XXIX, p. 271 à 280. — Z. S. *f. Naturw.* XII, pag. 247 à 249. — *Berl. Ber. für* 1858, XIV, pag. 166 à 168.

courant d'air. Pour provoquer l'émission sonore, on a recours à une forte flamme de gaz hydrogène, tandis qu'on prend pour la petite flamme d'expérimentation du gaz d'éclairage qu'on allume seulement quand on a trouvé le point convenable. Dans une expérience de Grailich et Weiss (1), cette petite flamme était placée à la moitié de la longueur du tube. Aussitôt qu'on la changeait de place, elle s'éteignait.

Dans une autre expérience due au comte de Schaffgotsch, une petite flamme brûlait sous une faible pression. Elle sortait d'un étroit orifice de 0m005. A une distance de de 0m005 au-dessus, un courant, sous une forte pression, s'échappait d'un petit brûleur. Celui-ci, dans les cas ordinaires, ne se serait pas allumé, mais aussitôt que la note donnée par le tuyau, — cette note était

(1) Grailich et Weiss, *Loc. cit.*

le *ré*, —fut entonnée avec force, le courant supérieur vint s'allumer à la petite flamme au-dessous, qui s'amincit et s'allongea, puis s'éteignit subitement.

Cette expérience conduisit le comte de Schaffgotsch à imaginer un appareil spécial pour l'étude des divers phénomènes qui se rattachent aux flammes chantantes.

Des expériences analogues furent faites la même année (1858) par Le Conte (1). Il expliqua le phénomène de la même manière que Savart et Plateau ont expliqué l'influence des vibrations de l'air sur une veine liquide. Il voit là un exemple de la cohésion des gaz et compare le chant des

(1) Le Conte. *Ap. The american Journal of science and arts*, by Silliman (Silliman Journ.), 2, série XXV, pag. 62 à 67. — *Philos. Mag.*, série 4, XIV, pag. 235 à 239. — *Institut*, 1858, pag. 115 à 116. — *Arch. phys.*, série 2, I, pag. 270 à 273. — *Berl. Ber. für* 1858, XIV, pag. 143 à 144.

flammes aux tons observés par Favart pendant que des fluides s'échappaient de tuyaux courts. Sondhaus (1) n'a pu se mettre d'accord sur ce sujet avec Le Conte. Toutes ces expériences n'ont point paru concluantes. Le professeur Tyndall a répété celle du comte de Schaffgotsch. Il a montré comment on peut amener de la sorte une première flamme à déterminer l'ignition sonore d'une seconde flamme et comment, toutes choses observées, une flamme peut, d'une distance considérable, adresser la parole à une autre flamme (2).

C'est seulement dans le cas précédent que les physiciens ont examiné et placé dans le même appareil deux ou trois flammes séparées pour en apprécier l'action réciproque ; encore l'une de ces flammes, la plus petite,

(1) Ap. *Silliman Journ.*, série 2, XXXI, pag. 416 à 417. — *Berl. Ber. für* 1861, XVII, pag. 168.

(2) Tyndall, *loc. cit.*

n'intervient-elle ici que pour fournir la démonstration d'un principe de la loi de vibration au point de vue scientifique ; l'harmonica chimique, sous le rapport musical, ne gagne absolument rien à cette addition. C'est aussi au moyen de plusieurs becs de gaz superposés et de flammes nues et muettes adaptées à des orifices percés dans les parois de tuyaux d'orgue que l'on a rendu parfaitement claires, intelligibles et frappantes pour les yeux, les lois de la production du son dans les tuyaux, telles que la formation des nœuds et des ventres, ainsi que les principes de l'interférence des ondes sonores et le problème délicat de la composition du timbre. Pour rendre sensibles les différents modes de vibration, M. Kœnig a imaginé d'ingénieux appareils pourvus de flammes qu'il appelle *manométriques*, et dont les images variées représentent les phases plus ou moins compliquées des phénomènes sonores analysés par ce moyen, et jusqu'aux

vibrations de la voix dans l'émission des voyelles (1).

Ces appareils, qui ont figuré à l'exposition universelle de 1867, ont acquis, depuis cette époque, une grande notoriété scientifique.

L'intérêt excité parmi les physiciens, pour les expériences d'acoustique effectuées avec le secours de ces appareils munis de brûlures à gaz, doit avoir contribué à rendre les savants attentifs à la grande sensibilité manifestée par la flamme, — eu égard aux moindres bruits extérieurs, comme aussi à l'importance que celle-ci acquiert à l'état sonore, dans l'harmonica chimique.

(1) *Cosmos*, 1862, XXI, pag. 147 à 149, et 1864, XXIX, pag. 440. — Cimento, 1862, XII, pag. 5. — Pisko, VIII, *Jahresber. der Wiedner Oberreal-Schule*, Wien, 1863, pag. 32. — *Berl. Ber. für* 1862, XVIII, pag. 138. — *Pogg. Ann. für* 1864, CXXII, pag. 243 et suiv. — *Les Mondes*, par l'abbé Moigno, 1865, t. VII, pag. 646 et suiv. — König, *Catalogue illustré des instruments d'acoustique*.

Après avoir fait chanter la flamme d'un grand nombre de gaz, on a essayé d'étendre l'expérience aux bougies et aux mèches de lampe, mais, jusqu'ici, presque sans succès. Ces tentatives furent poursuivies, dès 1858, par les physiciens Roger (1), Peterim et Weiss (2). Plusieurs recueils scientifiques de cette époque en ont rendu compte.

On observa qu'en général, il était difficile d'obtenir de la flamme des mèches un son continu.

Les mèches creuses s'y prêtaient mieux que les mèches compactes, surtout lorsqu'on avait soin de recourir à des tubes étroits.

(1) W., B. Rogers, Ap. *Phil. Mag.*, 4e sér., 1858, XV, pag. 261 à 263, et 401 à 405. — *Arch. phys.*, 2. II, p. 57 à 58. — *Silliman Journ.*, 2e Sér. XXVI, pag. 1 à 15. — *Edinb. Journ.*, 2, Sér. VIII, pag. 300 à 312. — *Berl. Ber.* pour 1858, XIV, pag. 144 à 150.

(2) Ap. *Wien. acad. Ber.* 1858, XXXII, pag. 68 à 75. — L'Instit., 1858, pag. 330 à 331. — *Berl. Ber.* pour 1858, XIV, pag. 168 à 170.

On les faisait chanter au moyen de l'alçool, de l'éther sulfurique ou d'un mélange d'alcool et d'huile de térébenthine. Cependant Peterim et Weiss semblent donner à entendre qu'un agrandissement de la flamme et de la mèche, et l'emploi de tubes plus larges ne nuiraient pas à l'expérience, surtout pour les différentes espèces de bougies. On prétend qu'une bougie de stéarine doit être mince pour produire un son. On a encore observé qu'avec l'éther, l'huile de térébenthine et l'essence minérale, la sonorité de la flamme des mèches est, en général, irrégulière; qu'elle est préférable avec l'alcool et tout à fait bonne avec l'huile à brûler. Cette dernière opinion est justifiée par une observation due à Reinisch qui, en 1861, entendit la flamme d'une lampe à huile, dite lampe d'Argand, rendre un son dans son tube de verre (1).

(1) H. Reinisch Ap., *n. Jahrb. für Pharmacie*,

Bien que ces expériences n'aient produit que de médiocres résultats, elle n'en sont pas moins intéressantes, et si le champ de l'investigation s'agrandit dans cette voie, grâce à la persévérance des physiciens, peut-être auront-elles aussi des résultats utiles dans le domaine de la pratique.

Une autre série d'explorations fort curieuses et encore peu connues en France, est celle qui a été inaugurée à Leyde, par Rijke, en 1859. — Une flamme muette d'alcool ou d'hydrogène sert à chauffer au rouge un filet ou une toile métallique placée quelque peu au dessus de cette flamme, et retenu à la paroi du verre.

L'expérience a été décrite comme suit : Par la base inférieure d'un tube de cristal et environ au quart de la longueur de ce tube, on plaça une toile métallique à mailles ser-

XV, pag. 28. — *Berl. Ber.* pour 1861, XVII, pag. 169.

rées, attachées par un ressort à la paroi du verre. Quand cette toile métallique eut été chauffée au rouge au moyen d'une flamme d'alcool ou d'hydrogène, on entendit un son qui monta peu à peu et qui bientôt s'éleva plus haut que la note fondamentale du tube. Ce son ne dura que quelques secondes.

Dans d'autres cas, on réussit à le prolonger en faisant usage simultanément de plusieurs filets métalliques. Pour le rendre permanent, on a recommandé l'emploi d'une batterie galvanique (d'au moins 30 éléments de Grove) entretenant l'incandescence du filet métallique à l'intérieur du tube (1).

On explique ce fait par des changements alternatifs de volume, suivant une théorie

(1). P. L. Rijke dans *Pogg. ann.* 1859, *CVII*, page 339 à 343. — *Berl. Ber. fur* 1859, *XV*, pag. 165. — *Cosmos*, 1859, *XIV* pap. 508 à 5.1. — *Philosoph. Mag.* 4e sér. *XVII*, pag. 419 à 422. — *Arch. Phys.* 2e sér. *V*. pag. 361 à 362. — Cf. - J. Pisko, *Die neueren apparate d. Physik*, pag. 193. 194.

analogue à celle qui a été proposée pour expliquer le phénomène du chant des flammes.

Le courant à l'air froid ascendant se dilaterait en rencontrant la toile métallique chauffée au rouge et se condenserait ensuite au-dessus. Ces périodes alternatives de raréfaction et de condensation produiraient le son. Dans l'expérience de Rijke, on avait remarqué que si l'on bouchait avec la main l'orifice supérieure du tube, le son cessait aussitôt, mais qu'il renaissait avec une grande force, dès que, retirant la main, on laissait le tuyau ouvert. D'autres expérimentateurs, tels que Bosscha (1) et Riess (2), n'ont pas obtenu ce résultat, et comme ils ont opéré par une méthode quelque peu différente de celle de Rijke, ils ont en général

(1) Bosscha, dans *Pogg. Ann.* 1859, CVII, pag. 342 et 343. — (2) P. Riess, dans *Pogg. Ann.* 1859 *CVIII*, pag. 653 à 656. — *Ann.* 1860, *CIX*, pag. 145 à 147. — *Berl. Ber. für* 1859, *XV*, pag. 165. — 1860, *XVI*, page 132.

observé des faits qui sur de certains points contredisent et sur d'autres affirment ou complètent ceux qui ont été révélés par le physicien de Leyde.

Ici, la flamme n'étant introduite dans le tube que pour provoquer le son des toiles métalliques, et n'ayant par conséquent que le rôle d'auxiliaire, ce n'est plus proprement à l'historique des flammes chantantes que se rapportent ces tentatives. Toutefois elles me semblent devoir être rattachées à celui de l'harmonica chimique, puisque les toiles métalliques font ici l'office de flammes pour engendrer des sons musicaux susceptibles d'être variés et prolongés dans certains cas. Je pense qu'on serait tout aussi fondé à regarder comme une espèce d'harmonica chimique, et à désigner sous le nom d'*harmonica électrique*, l'appareil dont mes expériences sur l'application de l'électricité à des tubes sonores m'ont suggéré l'idée tout récemment.

Rien de plus simple à son origine que la

construction de l'harmonica chimique. On sait que, du temps de Chladni, tout l'appareil consistait en une bouteille ou grand flacon bouché contenant du gaz hydrogène, d'où le gaz pouvait sortir par un tube analogne au tube d'un thermomètre ou d'un baromètre fixé dans un bouchon.

Ce jet de gaz devait être allumé avec beaucoup de précaution. Berzelius conseillait de laisser échapper l'hydrogène pendant quelque temps avant d'en approcher un corps enflammé, afin d'éviter le danger d'une explosion du mélange détonant.

On plaçait sur le brûleur un autre tube, long d'environ un ou deux pieds, en cherchant, par tâtonnement, le point où la flamme pourrait chanter. On trouvait ainsi la note fondamentale du tube, et même un ou deux de ses harmoniques.

Au moment de la combustion, l'hydrogène en se combinant avec l'oxygène, brûle d'une flamme chaude, mais peu brillante.

C'est cette petite lumière que les anciens chimistes, qui s'occupaient surtout d'alchimie, c'est-à-dire de la recherche de la *pierre philosophale*, ont désignée par le terme de *lumen philosophicum*. Si le modeste appareil dans lequel soufflait ce *lumen philosophicum* prit le nom d'*harmonica chimique*, c'est que le son qui s'y produisait avait paru offrir une certaine analogie de timbre avec celui de l'harmonica de verre perfectionné par Franklin.

Bientôt on substitua aux tubes de thermomètre ou de baromètre, des tubes de verre et d'autres matières, voire de carton, comme ceux dont le Dr Sondhaus fit usage, en 1860, pour ses expériences. La forme en était tantôt droite, tantôt courbe, tantôt élargie à l'une des extrémités, la longueur facultative suivant la nature et le but des expériences, le diamètre également très-varié. On se servait de tubes larges, ou de tubes minces et étroits; enfin au lieu d'opérer sur un seul

de ces tubes à la fois, on eut l'idée d'en réunir un certain nombre de différentes dimensions, et l'on obtint ainsi comme une série d'harmonicas séparés ayant chacun pour note fondamentale une des sept notes de la gamme. Pour mettre ces tubes d'accord, on imagina de les envelopper à l'une de leurs extrémités, de petits rouleaux de papier ou de carton nommés *curseurs*, qu'on peut faire monter ou descendre à volonté sur le tube. La rapide propagation de l'emploi du gaz d'éclairage, et l'établissement de grands récipients de gaz hydrogène dans les laboratoires importants, facilitèrent de plus en plus l'étude de l'harmonica chimique, ainsi que les expériences délicates qui se rattachent au phénomène de la vibration des flammes.

Les physiciens qui se sont le plus occupés de cet objet ont imaginé des appareils propres à rendre leurs démonstrations parfaitement intelligibles.

Ceux de Sondhaus, de Schaffgotsch, de Tyndall et de Kœnig, sont particulièrement connus dans le monde savant. Combiné pour être alimenté, par d'importants récipients de gaz, le premier de ces appareils, désigné en Allemagne sous le nom de *Tonflammen-Apparat* de Schaffgotsch, est, comme instrument de physique, très-complet et très-ingénieux. Il fut construit principalement en vue de l'étude optique des flammes chantantes et de la démonstration des divisions de la colonne d'air vibrant dans le tube, mais il peut se prêter à toutes les expériences relatives au chant des flammes.

Il se compose de deux tuyaux de dimensions inégales, et d'un brûleur mobile, le tout réuni et fixé sur un chassis. A l'aide de cet appareil on peut faire parler simultanément deux tuyaux, mais ils sont à une certaine distance l'un de l'autre.

Un mécanicien de Vienne, M. Hauck, pour se conformer au principe posé par Roger, rela-

tivement à l'observation des images projetées sur l'écran, a eu l'idée d'adapter une roue au plus grand des tubes, afin de le faire tourner facilement et avec une grande rapidité sur son axe. Un appareil fabriqué d'après la méthode du comte Schaffgotsch a été exposé à Londres par M. Kœnig. Celui du Dr Sondhaus, qui peut être également approprié aux diverses analyses que comporte le phénomène dont il s'agit, est surtout recommandé pour l'étude des *sons de combinaison*. Enfin, les instruments à *flammes manométriques* construits à Paris par M. Kœnig, et dont presque tous les traités de physique publiés en France donnent les figures et la description, présentent un intérêt particuler par rapport aux lois de l'interférence du son. Bien que les flammes en soient muettes et nues, ils peuvent être employés utilement dans l'analyse optique des flammes chantantes et dans celle des phases de l'état vibratoire de ces flammes.

Je n'ai pas besoin de dire que tous les instruments dont il vient d'être fait mention n'ont chacun en soi rien de plus musical que la bouteille de gaz hydrogène au tube de baromètre ou de thermomètre, où chantait la petite flamme, le *lumen philosophicum*, et qui, du temps de Chladni, constituait l'harmonica chimique. Cependant, on dut reconnaître, dès l'origine, que le son donné par cette petite flamme avait, par sa hauteur déterminée et par le caractère particulier de son timbre, quelque chose de vraiment musical. S'il était parfois rude, criard, déchirant et d'une intensité telle que l'oreille avait de la peine à le supporter, il se manifestait dans d'autre cas, avec tant de charme, de douceur, de pureté, de plénitude, et qui plus est, avec une suavité mélancolique si étrange, que toute personne sensible aux harmonies cosmiques en était frappée. Il se trouva donc en Angleterre des esprits inventifs, qui cherchèrent à tirer parti de l'expérience où figu-

raient une série de tubes ou d'harmonicas séparés, donnant les différentes notes de la gamme et qui se flattèrent de créer sur ce plan un instrument de musique nouveau. Mais la difficulté qu'ils paraissent avoir éprouvée à faire parler les tuyaux à volonté, à éviter l'espèce de hoquet marquant le passage d'une note à une autre, à modérer le son et à l'éteindre instantanément tout en conservant la justesse d'intonation, tout cela semble avoir rendu ces essais infructueux. Je crois d'ailleurs qu'ils ont été fort restreints. Je n'en ai eu connaissance que par les observations qui ont été présentées sur mon pyrophone, après la séance de la *Society of Arts*, où mon invention a reçu un accueil si bienveillant et si flatteur.

Il est plus que probable que si je ne m'étais pas frayé, sans le savoir, une voie nouvelle dans l'étude des flammes chantantes, et si je n'avais pas découvert le principe dont j'ai fait l'application à mon pyrophone, principe

que j'ai eu l'honneur de soumettre à *l'Académie des Sciences* de Paris, ainsi qu'à la *Royal Institution* et à la *Society of Arts* de Londres, et que je vais exposer ci-après, je ne serais pas arrivé, malgré tous mes efforts, à des résultats plus pratiques que ceux de mes devanciers.

DEUXIÈME PARTIE



INTERFÉRENCE DES FLAMMES VIBRANTES

LE PYROPHONE

DEUXIÈME PARTIE

INTERFÉRENCE

DES FLAMMES VIBRANTES

LE PYROPHONE

Dans le courant de l'année 1868, je m'occupais très-activement d'expériences relatives aux phénomènes de l'électricité (1).

(1) Ces expériences sur l'électricité me suggérè-, à cette époque, la pensée d'une combinaison

C'est en étudiant les propriétés des différents gaz et en entendant chanter la

que je jugeais propre à fournir une application nouvelle de l'électricité comme force motrice. L'appareil imaginé par moi fut brévelé au commencement de 1870. J'avais motivé comme suit ma demande en autorisation de brevet :

« Mon invention a pour objet d'obtenir, par l'électricité, une force constante, afin de l'appliquer industriellement comme moteur. Elle consiste à employer une série d'électro-aimants dont les armatures, quoique placées à l'état de repos, à des distances inégales, se rapprochent successivement de leurs électro-aimants correspondants, en imprimant à une tige droite comme celle du piston d'un cylindre à vapeur, un mouvement rectiligne qu'elle transmet à un arbre moteur au moyen de bielles, d'engrenages ou d'autres moyens mécaniques. L'attraction de toutes les armatures, par leurs électro-aimants correspondants, a lieu simultanément; mais en outre, ce qui constitue ce que j'appelle la force constante, résulte de ce que le contact de chaque armature avec ses électro-aimants aide au rapprochement de l'armature et des électro-aimants

flamme de l'harmonica chimique que je tentai de tirer parti de ce phénomène scientifique au profit de l'art musical.

Quoique je ne connusse ce qui concernait alors les flammes chantantes que par le petit nombre d'ouvrages de physique servant à l'enseignement en France, ouvrages qui sont fort incomplets sur ce sujet, je cherchais, dès l'année 1869, à tenter de rendre musicales

qui leur sont juxtaposés, de sorte que l'attraction qu'on pourrait appeler constante, s'opère toujours à la même distance et successivement l'une après l'autre. Il en résulte que la puissance de ces attractions successives, augmentée de l'attraction simultanée de toutes les armatures, constitue la force motrice dont l'application peut se faire, ainsi qu'il vient d'être expliqué. »

A la même date, je pris un certificat d'addition à ce brevet, lequel avait pour objet un appareil perfectionné, combiné et disposé de telle façon qu'on pouvait obtenir des interruptions de durée variables dans le courant transmis de la pile à mon moteur électrique.

les manifestations sonores des flammes vibrantes.

Je n'ai pas à raconter ici toutes les difficultés que j'ai dû vaincre, sans autres guides que ces traités de physique.

J'ignorais alors les travaux spéciaux faits en Angleterre, en Autriche et en Allemagne, travaux que j'ai mentionnés dans la première partie de cet ouvrage, afin de rendre hommage aux savants éminents qui m'ont devancé dans cette voie.

Le 17 mars 1873, M. le baron H. Larrey, membre de l'Institut, voulut bien lire en mon nom le mémoire qui va suivre, à l'Académie des Sciences de Paris, réunie en séance ordinaire sous la présidence de M. de Quatrefages.

PRINCIPE.

« Si, dans un tube de verre, ou d'autre matière, on introduit deux ou plusieurs

flammes isolées de grandeur convenable, et qu'on les place au tiers de la longueur du tube, comptée à partir de la base inférieure, ces flammes vibrent à l'unisson.

« Le phénomène continue de se produire tant que les flammes restent écartées ; mais le son cesse aussitôt que les flammes sont mises au contact.

De la démonstration de ce principe résultent les expériences suivantes :

PREMIÈRE EXPÉRIENCE.

« J'ai pris un tube de verre de 0,55 c. de longueur, de 0,041 de diamètre extérieur, et de 0,0025 d'épaisseur. Deux flammes isolées provenant de la combustion du gaz hydrogène, s'échappant de becs convenablement construits, et placées à 0,183 de la base, ont produit, lorsqu'elles étaient séparées, le *Fa naturel*.

« Dès que ces flammes, à l'aide d'un mécanisme très-simple, ont été rapprochées, le son a été brusquement interrompu.

« Si on fait varier la position des flammes dans le tube, en les laissant toujours écartées, au-dessus du tiers de la longueur, le son diminue jusqu'à la moitié du tube, endroit au delà duquel tout bruit cesse de se produire : au-dessous de ce même point le son augmente au contraire, jusqu'au quart de la longueur du tube. En cet endroit, si on rapproche les flammes, le son ne cesse pas immédiatement, les deux flammes pouvant alors continuer de vibrer, comme une flamme unique.

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

« En prenant un tube de verre de 0,65 de long, de 0,046 de diamètre extérieur et de 0,002 d'épaisseur dans lequel deux flammes

isolées, provenant de la combustion du gaz hydrogène et placées à 0,216 de la base, vibrent, on obtient le *Ré* d'après le diapason normal. Le son cesse dès que les deux flammes sont au contact.

TROISIÈME EXPÉRIENCE.

« Si on prend un tube de 0,97 de long, de 0,037 de diamètre extérieur, de 0,002 d'épaisseur, et que dans l'intérieur on fasse vibrer deux flammes isolées brûlant à 0,323 de la base inférieure, on obtient, pour son fondamental, un *Sol*. Le rapprochement des deux flammes éteint immédiatement le son.

QUATRIÈME EXPÉRIENCE.

« En adoptant un tube de verre de 0,65 de long, de 0,05 de diamètre extérieur, et de

0,002 d'épaisseur dans lequel ont fait brûler deux flammes isolées, ont obtient l'*Ut dièze*. Dès que les flammes sont mises au contact, le son cesse immédiatement de se produire.

« Depuis deux ans, j'ai répété ces expériences sur des tuyaux de diverses dimensions, en longueur, diamètre extérieur et épaisseur. J'ai opéré sur des tuyaux ayant depuis 0,10 jusqu'à 2^{m},80, et constamment les résultats que je viens d'indiquer se sont vérifiés.

« Néanmoins, il est important de mettre la longueur des tuyaux en harmonie avec le *nombre des flammes*.

« Il est possible que tel tube de longueur trop grande, ou d'un diamètre trop grand, ne permette pas de vérifier la *loi* que j'ai énoncée, si on a recours à deux becs seulement. Ce phénomène de *l'interférence des flammes* peut alors ne pas se produire ; mais,

qu'on augmente le nombre des becs, qu'au lieu de deux on le porte à trois, et au delà, alors l'interférence se produira et le principe énoncé se vérifiera sans difficulté aucune.

« La hauteur des flammes n'exerce qu'une action limitée sur ce phénomène. Il est pourtant indispensable de régler lentement, et surtout de faire vibrer dans l'intérieur de chaque tube un nombre de flammes convenablement calculé, si on veut obtenir des sons musicaux, lesquels peuvent être d'ailleurs d'un timbre remarquable.

« L'interférence ne se produit, en effet, que dans des conditions spéciales qu'il m'a été permis d'étudier d'une manière complète.

« La forme des becs joue ici un rôle important.

« Lorsque les flammes s'en échappent avec un jet libre, tendant à s'élever avec énergie des becs vers le haut, l'interférence se manifeste, et un son harmonieux se fait enten-

dre ; mais si au contraire les flammes tendent à s'abaisser, en enveloppant le bec, il n'y a plus que des vibrations discordantes, le phénomène de l'interférence n'a plus lieu, et on ne peut plus compter sur un son musical.

« L'ensemble de ces expériences m'a conduit comme application à la construction d'un instrument musical, d'un timbre complètement nouveau, se rapprochant de la voix humaine et auquel j'ai donné le nom de *Pyrophone*. Cet instrument, qui figurera à l'*Exposition universelle de Vienne*, se compose de trois claviers s'accouplant comme dans l'orgue; chacune des touches du clavier est mise en communication, à l'aide d'un mécanisme fort simple, avec les conduits adducteurs des flammes dans les tuyaux de verre; lorsqu'on presse sur ces touches, les flammes se séparent, et le son se produit aussitôt; dès qu'on cesse d'agir sur

les touches, les flammes se rapprochent, et le son cesse immédiatement.

« Tel est le principe fondamental sur lequel repose le *Pyrophone* que j'ai fait bréveter en France et dans les divers pays de l'Europe.

« Je me réserve de communiquer prochainement à l'Académie une série d'expériences sur les flammes chantantes :

1° En donnant aux tubes diverses positions ;

2° Sur les phénomènes de l'interférence ;

3° Sur les rapports que j'ai cru reconnaître à ce point de vue entre les mouvements vibratoires de la lumière et ceux provenant du son ;

4° Sur le dégagement de l'ozone ;

5° Sur la production des *harmoniques* pour lesquels la loi énoncée se vérifie également. »

L'Académie des Sciences chargea une commission spéciale, composée de trois de ses membres, Messieurs Regnault, Jamin et Bertrand, de l'examen de ma communication.

J'eus l'honneur de soumettre un nouveau Mémoire à l'Académie dans la séance du 7 décembre 1874, présidée par M. Frémy.

Ce mémoire, présenté également à l'Académie des Sciences par M. le baron H. Larrey, avait plus spécialement pour objet l'application du gaz d'éclairage à mon pyrophone. En le communiquant à l'Institut, M. le baron Larrey s'exprima comme il suit :

« J'ai eu l'honneur de présenter à l'Académie, dans la séance du 17 mars 1873, un premier travail de M. Kastner sur des expériences nouvelles, relatives aux flammes chantantes, notamment sur la découverte du principe nouveau de leur interférence, pour la production ou la cessation du son. M. Kastner a employé, à cet effet, deux ou plusieurs flammes, au lieu d'une seule,

dans un tube de verre ou d'autre matière, et il a fait l'application de ce principe à un instrument de musique d'un timbre nouveau imaginé par lui, et auquel il a donné le nom de *Pyrophone*.

« M. F. Kastner soumet aujourd'hui au jugement de l'Académie le résultat des nouvelles recherches auxquelles il s'est livré depuis un an pour parvenir à substituer le gaz d'éclairage au gaz hydrogène dans le fonctionnement de son Pyrophone. »

Après avoir reçu cette communication, l'Académie décida que la Note qu'on va lire serait imprimée *in extenso* dans le Compte-rendu de la séance. (Voir t. LXXIX, p. 1307 à 1310, des *Comptes-rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences par MM. les Secrétaires perpétuels*, 1874, deuxième semestre, n° 23, 7 décembre 1874, — Paris, Gauthier-Villars, imprimeur-libraire des Comptes-rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1874, in-4.)

MÉMOIRE

SUR L'APPLICATION DU GAZ D'ÉCLAIRAGE AU PYROPHONE.

« Après avoir fait un très-grand nombre d'expériences sur les flammes chantantes en adoptant l'hydrogène comme gaz combustible, j'ai démontré le principe d'acoustique suivant :

« *Si, dans un tube de verre ou d'autre matière, on introduit deux ou plusieurs flammes isolées, de grandeur convenable, et qu'on les place au tiers de la longueur du tube, comptée à partir de la base inférieure, ces flammes vibrent à l'unisson. Le phénomène continue de se produire tant que les flammes restent écartées; mais le son cesse aussitôt que les flammes sont mises au contact.* »

« J'ai construit, comme application de ce principe de physique, un appareil musical

nouveau, auquel j'ai donné le nom de *Pyrophone*.

« L'exposé de ce principe et la description du Pyrophone constituaient le sujet du Mémoire que j'ai eu l'honneur de présenter à l'Académie des Sciences dans la séance du 17 mars 1873, et dont M. le baron H. Larrey a bien voulu donner lecture.

« La principale objection qui ait été faite au fonctionnement du Pyrophone était l'emploi du gaz hydrogène.

« Au point de vue pratique, ce gaz présente, en effet, plusieurs inconvénients :

« Il est difficile à préparer ;

« Il nécessite l'usage de gazomètres dont les dimensions peuvent être considérables ;

« Enfin ce gaz n'est pas sans présenter quelques dangers.

« J'ai donc dû renoncer au gaz hydrogène. J'ai recherché, depuis plus d'un an, les moyens d'appliquer au Pyrophone le gaz

courant d'éclairage, qu'il est toujours facile de se procurer.

« Dans les premières expériences que j'ai tentées, en introduisant deux flammes écartées, provenant de la combustion du gaz d'éclairage, dans un tube de verre, je n'ai pu obtenir aucun son ; cela provenait incontestablement de la présence du carbone dans ces flammes. Tandis que le son était produit d'une manière très-nette avec le gaz hydrogène pur, c'est-à-dire sans l'interposition d'aucun corps solide dans les flammes, il était impossible de faire vibrer le tube avec le gaz d'éclairage, tout en plaçant les flammes dans des conditions identiques. Il fallait donc, par un procédé quelconque, éliminer le carbone, résultat auquel je suis parvenu par la série des conditions suivantes.

« Lorqu'on examine une flamme dont le gaz combustible est celui de l'éclairage, et qu'on place cette flamme dans un tube de

cristal ou de toute autre matière (métal, toile cirée, carton, etc.), cette flamme est ou *éclairante* ou *sonore*.

« Lorsque cette flamme est seulement *éclairante*, c'est-à-dire dans le cas où l'air contenu dans le tube ne vibre pas, elle présente une forme allongée et pointue à l'extrémité supérieure. En outre, elle offre un renfoncement vers le milieu, et elle est sans rigidité, obéissant au moindre courant d'air, qui la fait vaciller dans un sens ou dans l'autre.

« Au contraire, lorsque la flamme est *sonore*, c'est-à-dire lorsqu'elle détermine dans le tube les vibrations nécessaires à la production du son, sa forme est rétrécie, mince, en panache, avec un renflement au sommet. Pendant que l'air du tube vibre, elle offre une très-grande rigidité ; le carbone, en grande partie, est éliminé, comme de lui-même, par un procédé mécanique.

« Les flammes *sonores*, provenant du gaz

d'éclairage, sont en effet enveloppées d'une photosphère qui n'existe pas lorsque la flamme est seulement *lumineuse*. Dans ce dernier cas, le carbone brûle dans la flamme et contribue pour une forte proportion au pouvoir éclairant de cette flamme.

« Mais lorsque les flammes sont *sonores*, la photosphère qui enveloppe chacune d'elles contient un mélange détonnant d'hydrogène et d'oxgyène qui détermine les vibrations de l'air du tube.

« Pour que le son se produise dans toute son intensité, il est nécessaire et suffisant que l'ensemble des détonations produites par les molécules d'oxygène et d'hydrogène, dans un temps donné, soient en accord avec le nombre de vibrations qui correspondent au son produit par le tube.

« Pour mettre ces deux quantités en accord, j'ai songé à augmenter le nombre des flammes, de manière à augmenter aussi le nombre des détonations du mélange

d'oxygène et d'hydrogène dans les photosphères et de déterminer ainsi la vibration de l'air du tube. Au lieu de deux flammes d'hydrogène pur, j'ai mis quatre, cinq, six, etc., becs de gaz d'éclairage dans le même tube. J'avais d'ailleurs observé que, plus une flamme est haute, et plus elle contient de carbone. J'ai donc tout d'abord dû diminuer la hauteur de ces flammes, et, par suite, en augmenter le nombre, afin d'obtenir une surface totale des diverses photosphères, suffisante pour produire la vibration de l'air du tube.

« La somme du carbone contenu dans l'ensemble des petites flammes sera toujours beaucoup moindre que la quantité de carbone qui correspondrait aux deux grandes flammes nécessaires pour produire le même son. Je suis parvenu ainsi, les flammes étant séparées, à obtenir des sons dont le timbre est aussi net qu'avec le gaz hydrogène. Dès que ces flammes, ou mieux, dès

que les photosphères qui correspondent à ces flammes, sont mises au contact, le son cesse instantanément.

« Le carbone du gaz d'éclairage, lorsque les flammes sont *sonores*, est certainement éliminé presque en totalité. En effet, il se forme sur la surface intérieure du tube résonnant, à la hauteur des flammes et au-dessous, un dépôt très-sensible de carbone dont la couche augmente pendant que l'air du tube vibre.

« Je puis donc affirmer aujourd'hui que le pyrophone est en état de fonctionner tout aussi bien avec les gaz combustibles contenus dans le gaz d'éclairage, qu'avec l'hydrogène pur.

« Le phénomène de l'interférence se produit exactement dans les mêmes conditions pour ces deux gaz, les flammes occupant toujours la même position dans le tube, soit au tiers à partir de la base inférieure.

« Indépendamment du phénomène de

l'interférence, je crois devoir signaler un nouveau procédé à l'aide duquel on pourra faire cesser le son produit par les flammes brûlant dans un tube.

« Supposons qu'une ou plusieurs flammes, placées dans un tube au tiers de la hauteur, à partir de la base inférieure, détermine la vibration de l'air contenu dans ce tube; si l'on perce un trou au tiers du tube, compté à partir de la base supérieure, le son cesse. On pourrait, en appliquant cette observation, construire un appareil musical qui serait une espèce de flûte fonctionnant avec les flammes chantantes. Un tel instrument, au point de vue musical, serait fort imparfait, parce que le son ne s'arrêterait pas aussi promptement et aussi nettement qu'en employant dans ce but le phénomène de l'interférence. Si, au lieu d'ouvrir cet orifice au tiers, on le pratiquait au sixième, le son ne cesserait plus, mais il se produirait un dièze du son initial.

« Dans toutes ces expériences, il m'a été facile de vérifier la formation d'ozone dès que les flammes faisaient vibrer l'air contenu dans le tube. La présence de ce corps peut être en outre constatée par les réactifs chimiques que la science a fait connaître. »

(Extrait des Comptes-rendus hebdomadaires de l'Académie des Sciences.)
(Séance du 7 décembre 1874.)

Je crois devoir compléter ce qui précède, par les observations suivantes :

Tout corps solide dans l'intérieur d'une flamme chantante est un obstacle à la production du son ; aussi les particules solides de carbone contenues dans le gaz ordinaire sont-elles un obstacle réel et considérable à la formation des vibrations.

C'est pourquoi on avait remarqué jusqu'ici qu'il était nécessaire de chanter ou de crier

à peu près dans le son qu'on supposait devoir être rendu par le tube, afin d'exciter la flamme à entrer en vibration.

Il est facile de prouver combien le carbone est contraire à la production du son dans les flammes sonores par l'expérience suivante :

On place un brûleur de gaz hydrogène pur, dans un tube, de manière qu'il produise un son, ayant le plus d'intensité possible.

L'appareil ayant été disposé de manière qu'on puisse carburer petit à petit l'hydrogène, celui-ci passant alors dans de la benzine, on verra le son diminuer, et la flamme, de *sonore*, devenir éclairante.

La transformation du carbone en acide carbonique n'a pas toujours lieu dans une flamme sonore ; et, lorsque l'expérience est

convenablement disposée on peut constater que la flamme élimine le carbone, le projetant contre les parois du tube lorsqu'elle ne peut le brûler entièrement.

Il est donc préférable, d'après ce qui précède, d'employer l'hydrogène pur.

Néanmoins, en remplaçant, par exemple, deux flammes d'hydrogène pur par une quantité de flammes assez considérables et plus petites, formant dans leur ensemble environ le même volume que les deux flammes d'hydrogène pur, on peut arriver à obtenir que ces flammes entrent assez rapidement en vibration, et d'une manière à peu près aussi rapide que celles d'hydrogène pur.

La raison en est qu'une de ces petites flammes de gaz ordinaire contient, par rapport à sa surface enveloppante, une quantité moindre de carbone qu'une flamme plus grande

de gaz ordinaire n'en contient par rapport à sa surface enveloppante.

Les points de contact entre l'air environnant la flamme pénètrent plus aisément dans la sphère qui entoure la flamme, et qui doit entrer en vibration.

NOTE DE L'ÉDITEUR.

Tous les journaux français et étrangers ont mentionné, avec éloges, l'invention de M. Frédéric Kastner, ainsi que l'accueil favorable fait par l'Académie des Sciences aux communications du 17 mars 1873 et du 7 décembre 1874.

M. Louis Figuier, dans l'*Année scientifique* (17e année, 1873), commence son exposé annuel des travaux scientifiques, pour la *Physique*, par un article sur le pyrophone qu'il termine comme suit : « Le *Pyrophone* est assurément un des instruments les plus originaux dont la science ait encore doté la musique instrumentale. »

Le *Journal des Débats* du 27 mars 1873, dans sa *Revue des sciences*, consacre un long article au pyrophone, dans lequel il rappelle les tentatives faites antérieurement, sans aboutir au résultat obtenu aujourd'hui par M. Kastner, et il termine ainsi :

« M. Kastner aura fait le premier, et c'est une initiative dont on ne saurait trop le féliciter, une application intéressante des flammes chantantes, à la construction d'un instrument musical d'un timbre entièrement nouveau et se rapprochant de la voix humaine. »

Sous la plume autorisée du Dr Chéron, le journal le *Soir*, du 7 avril 1873, dans sa Revue des Sciences, consacre à cette invention plusieurs paragraphes, dont nous extrayons les lignes suivantes :

« C'est à M. Frédéric Kastner, un jeune physicien plein de talent et d'avenir, fils du regretté Georges Kastner de l'Académie des beaux-arts, que revient le mérite d'avoir déterminé le principe général qui a servi de base à la construction de l'instrument remarquable dont il est l'inventeur.

« Voilà donc une question, naguère à peine ébauchée, dont M. Frédéric Kastner vient de préciser les lois en même temps qu'il en faisait la plus remarquable application en créant le Pyrophone. »

La *Revue Britannique* (49e année, n. 4, avril 1873) renferme, dans sa chronique scientifique, d'intéressantes considérations sur cette découverte.

M. le Dr Decaisne, dans le journal la *France* du 28 mars 1873; le *Constitutionnel* du 19 du même mois, le *Bien public* du 26, le *Temps* du 31 font connaître les très-curieuses expériences de M. Frédéric Kastner sur les flammes chantantes, expériences que M. Jamin, membre de l'Académie des sciences, a trouvées dignes du plus grand intérêt au point de vue scientifique, et qui nous réservent des surprises au point de vue artistique.

Les articles les plus sympathiques furent insérés dans le *Journal officiel* du 20 et du 28 mars 1873, le *Moniteur universel* du 1er avril 1873, la *Revue scientifique de la France et de l'Etranger* du 22 mars, le *Français* du 20, le *XIXe Siècle* du 20, la *Patrie* du 26, la *Liberté* du 26, la *Science pour tous* du 29 dudit mois, le *National* du 1er avril, les *Mondes* (*Revue hebdomadaire des sciences et de leur application aux arts et à l'industrie*) de M. l'abbé Moigno, t. XXX, nº 13, le *Siècle* dans sa revue scientifique du 30 mars et dans sa revue musicale du 18 août 1873, l'*Avenir national* du 12 juillet, le *Moniteur scientifique* du Dr Quesneville, 17e année, 3e série, t. III, 376e livraison.

Ce qu'on remarque surtout dans cette invention, c'est le fait nouveau de l'interférence des flammes.

« M. Frédéric Kastner, dit M. Albert Lévy (*Journal de la Jeunesse*, n° 29 ; 21 juin 1873), a reconnu que si, au lieu d'une flamme d'hydrogène vibrant dans un tube, on en introduisait deux dans le même tube, il devenait possible de faire interférer ces flammes vibrantes à un instant donné et, par suite, de faire cesser le son au moment voulu. Le moyen indiqué par M. Kastner, pour arrêter brusquement le son, consiste à réunir les deux flammes. Si donc nous considérons un orgue ordinaire composé de tuyaux dans l'intérieur de chacun desquels sont placés deux becs de gaz, réunis quand l'instrument est au repos, on comprendra que ces deux flammes puissent se séparer au toucher d'une note, donner le son correspondant au tuyau et rentrer en contact quand la touche est abandonnée.

« Le Pyrophone paraît posséder un timbre particulier, très-doux, imitant la voix humaine, et par conséquent agréable à l'oreille. »

Les *Causeries scientifiques* de M. de Parville (13e année 1873) donnent un dessin représentant le

pyrophone et s'étendent longuement sur le mérite et l'originalité de cet instrument.

M. Gaston Tissandier, dans son journal scientifique *la Nature* (7 février 1874), explique par quelle série de considérations théoriques l'inventeur, « à la fois physicien et musicien », a été conduit à la découverte de ce système ingénieux :

« Poussant ses recherches, pour les compléter, du côté des lois de l'interférence, il a découvert un des plus intéressants théorèmes d'acoustique, qui était resté ignoré jusqu'à ce jour.

« Des savants allemands, anglais et français s'étaient déjà beaucoup préoccupés des flammes chantantes. Mais aucun n'avait songé à étudier les effets produits par deux flammes conjuguées, comme l'a fait l'auteur du travail dont nous exposons les résultats. Un mémoire présenté à l'Académie des sciences par ce jeune savant, à la date du 17 mars 1873, et auquel nous renvoyons le lecteur, contient les expériences et les calculs à l'aide desquels M. F. Kastner a formulé sa nouvelle loi.

« L'application de cette loi, à l'aide de combinaisons délicates et de mécanismes ingénieux, a fait sortir le Pyrophone des mains de l'inventeur... »

Le *Journal officiel de l'Exposition de Vienne* (n° 26, 13 septembre 1873) accorde quelques pages à la description du Pyrophone, les illustrant de plusieurs gravures :

« M. Frédéric Kastner, fils du savant français, membre de l'Institut, a soumis à l'examen du jury de l'Exposition universelle de Vienne un nouvel instrument de musique qui n'a cessé d'attirer la curiosité de tous les visiteurs.

« Le Pyrophone pouvait être classé, soit parmi les instruments de physique, soit dans la section de musique. En effet, M. Frédéric Kastner a trouvé les éléments de son invention dans une série d'expériences nouvelles qu'il a entreprises sur les flammes chantantes. Il en a conclu un théorème important d'acoustique, dans un mémoire à l'Académie des Sciences de Paris...

« Mais ce qu'il y a de particulièrement remarquable, c'est le timbre exceptionnel des sons qui sortent du Pyrophone. Il a été utilisé dans des concerts et employé principalement à l'accompagnement des morceaux de plain-chant.

« L'inventeur, unissant les connaissances scientifiques à son savoir musical, espère que bientôt il sera en mesure de substituer à l'hydrogène le

gaz d'éclairage, que l'on peut se procurer encore plus facilement.

« Un grand nombre de compositeurs et de musiciens ont déjà admiré ce nouvel orgue fonctionnant par le chant des flammes, ou mieux, par les vibrations déterminées au moyen de la combustion de ces flammes.

« Après avoir félicité M. Kastner sur l'importance de sa découverte, ils lui ont fait entrevoir tout le parti qu'on pourrait tirer du Pyrophone dans les églises et dans les théâtres lyriques.

« Bientôt, plusieurs applications intéressantes doivent être faites, et nous ne doutons pas que cet instrument, auquel on peut donner toutes les dimensions, depuis un octave jusqu'aux portées les plus étendues, ne fasse partie de tous les orchestres bien combinés, de même que nous pensons qu'il devra s'introduire dans les cabinets de physique dont les instruments auront la prétention de reproduire, d'une manière sérieuse, les phénomènes si variés et si complexes de l'acoustique. »

Tous les journaux musicaux déclarèrent être convaincus que le Pyrophone a une mission des plus poétiques à remplir dans la musique des

concerts, dans la musique d'église comme dans celle des théâtres.

Les journaux étrangers ont témoigné également un vif intérêt pour la nouvelle invention. Il faut citer entre autres : le *Guide Musical* de la Belgique du 27 mars 1873, le journal autrichien le *Danube*, de Vienne, du 26 août, le journal danois *Illustreret Tidende*, de Copenhague, du 28 septembre, *la Gazetta musicale di Milano* du 28 septembre 1873, *The Scientific American* du 2 mai 1874, la *Revue internationale* de physiologie de Bruxelles, du mois de janvier 1875, *The Musical Standard*, de Londres, du 4 octobre 1874, et beaucoup d'autres, qui consacrent de longs articles, tant au point de vue scientifique qu'au point de vue musical, au pyrophone de M. F. Kastner.

Le *Magasin pittoresque* du mois de mai 1875, XLIII année, renferme un dessin du pyrophone avec plusieurs pages d'explications, dont nous extrayons les lignes suivantes :

« Quand on enveloppe d'un cylindre de verre, ouvert aux deux extrémités, une flamme de gaz hydrogène brûlant à l'extrémité d'un petit tube, on entend un son plus ou moins aigu qui varie selon

le diamètre et la longueur du cylindre. Ce phénomène est dû à la combinaison de l'hydrogène avec l'oxygène de l'air ; la flamme, ainsi entourée, s'anime d'un mouvement vibratoire qu'elle communique au cylindre.

« Ces notions élémentaires sont trop connues pour qu'il nous semble nécessaire d'y insister plus longuement ; mais il n'en est pas de même de l'application récente qui a été faite des flammes chantantes, par un jeune physicien, M. Frédéric Kastner.

« Grâce à de savantes considérations théoriques, à des expériences ingénieuses, ce physicien est arrivé à construire un appareil où les flammes chantantes, combinées entre elles, fournissent au musicien un instrument nouveau dont les effets sont tout à fait remarquables, et que son inventeur a appelé le pyrophone.

« M. Kastner, dans les études qu'il a faites, a découvert un nouveau théorème d'acoustique. »

Après les *Lectures*, *Conférences* et *Exhibitions* qui ont eu lieu en Angleterre, au commencement de l'année 1875, les journaux, les *magazines* anglais s'empressèrent de louer hautement la nouvelle invention.

Le *Morning Post* du 20 janvier 1875 rend compte d'une séance qui a eu lieu le 15 du même mois à l'*Institut Royal* de Londres, séance dans laquelle le professeur Tyndall a mentionné avec éloges et expliqué à ses auditeurs l'invention de M. Kastner. Nous en traduisons quelques lignes :

« Le professeur Tyndall a fait, vendredi dernier, à l'Institut Royal (*The Royal Institution*), une *lecture* sur la chaleur, dans laquelle il a expliqué à son auditoire la merveilleuse invention de M. Frédéric Kastner. Il s'agit d'un instrument auquel son ingénieux inventeur a donné le nom de *Pyrophone ;* ce nom indique que cet instrument produit des sons musicaux par le moyen de flammes rapprochées et disposées à cet effet dans une série de tubes de verre. Les sons ainsi obtenus ressemblent d'une manière frappante à la voix humaine, à tel point que si l'instrument est caché aux regards, on est porté à croire que c'est une dame qui chante avec accompagnement ; il produit des accords semblables à ceux d'une harpe éolienne, et peut aussi atteindre le diapason de l'orgue le plus grandiose. Ces effets, véritablement surprenants, sont déterminés par le simple mécanisme des touches d'un piano ordinaire.

« Le grand fait scientifique qui ressort de ce phénomène, c'est que les sons se produisent et se soutiennent tant que les flammes sont séparées, et qu'ils cessent de se faire entendre dès qu'on réunit les flammes au moyen de l'action des leviers, mus par des touches.

« M. Kastner s'est d'abord servi du gaz hydrogène ; mais, par la multiplication des flammes, il obtient maintenant les mêmes effets à l'aide du gaz d'éclairage ordinaire... »

Le même journal, dans son numéro du 18 février 1875, contient un long article intitulé *the Pyrophone,* où il est parlé de la réunion qui a eu lieu à la *Société des Arts* (*the Society of Arts*), le mercredi 17 février 1875, et qui fut entièrement consacrée au Pyrophone. On ne lira pas sans intérêt les détails suivants :

« Hier au soir, à la réunion de la *Société des Arts* (*Society of Arts*), présidée par le lieutenant-colonel Strange, Monsieur Le Neve Foster, secrétaire, a donné lecture de la description détaillée du Pyrophone, nouvel instrument de musique inventé par M. Kastner. Un pyrophone, construit pour cette occasion, était exposé dans la salle.

« Le mérite de M. Kastner est d'avoir démontré que, lorsqu'on introduit deux ou plusieurs flammes dans un tube, elles vibrent à l'unisson et produisent le maximum musical du son quand elles atteignent le tiers de la longueur du tube; que si ces flammes sont mises en contact, tout son cesse immédiatement. Ce phénomène est dû au mélange des flammes vibrantes. C'est là une question à laquelle on ne songeait pas auparavant, et dont M. Frédéric Kastner a déterminé les lois, en même temps qu'il en faisait une application extrêmement remarquable, par la création d'un instrument qui rappelle, à s'y méprendre, les sons de la voix humaine.

« Une jeune dame a joué quelques morceaux sur cet instrument, puis on a fait une expérience avec accompagnement de voix. Dans l'un et l'autre cas, l'effet a été fort saisissant et entièrement nouveau.

« Une discussion relative à cette invention s'est engagée, d'où il résulte que cette dernière est du plus grand intérêt pour la science ainsi que pour l'art musical. »

Les journaux anglais, le *Pall Mall Gazette* du 18 février 1875, le *Daily News* de la même date, le

Musical Standard du 27 et plusieurs autres encore, ont également rendu un compte très-favorable de la Conférence du 17 février. Celle-ci a été décrite dans tous ses détails par la Revue scientifique hebdomadaire que publie la *Société des Arts*, sous ce titre : *Journal of the Society of Arts* (voir le numéro du 19 février 1875). Deux autres numéros de la même publication donnent des dessins représentant le Pyrophone : l'un (*Journal of the Society of Arts*, n° 1, 162, vol. XXIII, du 26 février 1875) renferme une vue d'ensemble de l'appareil ; l'autre (*Journal of the Society of Arts*, n° 1, 164, vol. XXIII, du 12 mars 1875) contient la figure représentant les nouveaux becs brûleurs avec la description de leur mécanisme.

Une publication illustrée, *the Practical Magazine*, de Londres, dans son numéro d'avril 1875, contient également un long article descriptif et analytique sur le pyrophone, et deux grandes planches représentant la coupe de l'instrument avec ses becs brûleurs multiples.

TROISIÈME PARTIE

THÉORIE DES VIBRATIONS

CONSIDÉRATIONS SUR L'ÉLECTRICITÉ

TROISIÈME PARTIE

THÉORIE DES VIBRATIONS

CONSIDÉRATIONS SUR L'ÉLECTRICITÉ

THÉORIE.

La nature procède d'un seul et unique principe : la VIBRATION, ou infinie vie, ou mouvement infini, ou force infinie.

Il existe, par rapport à nous :

1° Des vibrations infiniment *rapides*,

2° Des vibrations infiniment *lentes*.

Les vibrations infiniment *rapides* peuvent être infiniment *petites* ou infiniment *grandes;* et réciproquement, les vibrations infiniment *lentes* peuvent être infiniment *grandes* ou infiniment *petites*.

Ces vibrations *à l'infini* forment une *chaîne une et infinie*.

Supposons une échelle de ces vibrations, échelle faite par rapport à nous :

1° *Infini supérieur*.
2° *Pensée*,
3° *Electricité*,
4° *Lumière*,
5° *Chaleur*,
6° *Son*,
7° *Gaz*,
8° *Liquides*,
9° *Solides*,
10° *Infini inférieur*.

Comme conséquence de ces infinis vibrants, je pose le principe suivant :

Ces vibrations, en agissant les unes sur les autres, les unes dans les autres, et cela en plus ou moins grand nombre par rapport les unes aux autres, peuvent former des associations à l'infini, qui, tout en étant associations indépendantes, peuvent se subdiviser à l'infini, et former des créations tombant sous nos sens et dont nous pouvons nous rendre compte, n'étant nous-mêmes qu'une résultante de ces associations et créations.

Tout descend de l'infini *supérieur* vers l'infini *inférieur* par des vibrations *rapides* ou *lentes, grandes* ou *petites.*

Tout remonte de l'infini *inférieur* vers

l'infini *supérieur* par des vibrations *rapides* ou *lentes*, *grandes* ou *petites*.

La vibration étant une, deux vibrations de même nature tendent à se confondre en se réunissant. Ceci résulte de la nature même de la vibration : tout étant dans tout.

Le résultat de *formation* des associations de vibrations, ou corps à nous rendus sensibles, est l'association momentanée de ces vibrations.

II.

INTERFÉRENCE.

Le résultat de la *destruction* de ces vibrations *par rapport à nous* n'est que la désassociation de ces vibrations, qui donne pour résultat la destruction des formes à nous rendues sensibles.

Cette destruction n'est qu'une nouvelle réassociation d'infinis supérieurs avec inférieurs; ou inférieurs avec supérieurs; ou supérieurs avec supérieurs; ou inférieurs avec inférieurs.

La destruction est l'*interférence:* c'est-à-dire la destruction complète d'une association de vibrations par une autre association de vibrations ou par une autre vibration se heurtant à forces et à conditions égales; (deux forces égales et contraires s'annihilent).

La destruction réelle n'existe pas ; elle n'est qu'une cessation momentanée d'une association de vibrations ou d'une vibration, et n'est réelle que par rapport à ce qui existait précédemment :

L'infinie vie, étant sans cesse le mouvement infini, la force infinie, la *vibration.*

III.

VIBRATION OU MOUVEMENT INFINI.

Tout descend de l'infini supérieur vers l'infini inférieur par un mouvement uniformément varié.

Tout remonte de l'infini inférieur vers l'infini supérieur par un mouvement uniformément varié.

Le mouvement uniforme n'existe que par rapport à nous, de même que l'espace parcouru, le temps, la vitesse, et le mouvement fini.

Infinis supérieurs et infinis inférieurs.

Tous les corps sont composés d'infinis supérieurs et d'infinis inférieurs.

Interférence.

Deux vibrations en tous points égales, mais dont l'une est partie une demi-ondulation plus tard, s'annihilent.

IV.

MOUVEMENT FINI.

Le *mouvement fini*, qui procède du mouvement infini, est le résultat d'une répulsion ou d'une attraction, et ne peut être qu'une fraction de vibration.

Le mouvement fini, par rapport à nous, est causé par l'interférence.

L'interférence a causé la répulsion, en faisant de cette répulsion un obstacle à l'attraction.

Si deux vibrations rencontrent un obstacle, causé par l'interférence, l'attraction n'a lieu que si elles peuvent arriver à vaincre cet obstacle.

Il y a des mouvements finis à l'infini, par rapport à nous.

De l'interférence dépend, *par rapport*

à nous, l'espace parcouru, la vitesse, le temps et le mouvement fini.

Deux grandes causes viennent mettre fin au mouvement, la *résistance* et l'*épuisement*.

La résistance est l'opposition plus ou moins brusque.

L'épuisement est l'opposition ou résistance uniformément surmontée.

Dans le mouvement, l'interférence est la destruction brusque de la force initiale par une opposition semblable en sens contraire, donnant pour résultat *zéro*.

Si une vibration est partie, par rapport à une autre, à moins ou plus d'une demi-ondulation, elle ne la détruit pas complètement mais elle la modifie.

De là, tous les phénomènes complexes pour nous (mouvement fini, espace parcouru, vitesse, temps, diversité des corps.)

CONSIDÉRATIONS.

V.

CORRÉLATION ENTRE LE SON ET LA LUMIÈRE.

Comme exemple de ma théorie, je me bornerai à mentionner l'analogie qui existe entre les ondes lumineuses et les ondes sonores, analogie qui semble frappante, la vitesse seule différant.

Je pose donc en principe :

« Que, lorsqu'un son cesse d'être perçu « par l'organe auditif, si l'acuité de ce son « augmentait jusqu'à l'infini ($< \infty$) par « exemple, il pourrait devenir perceptible « par l'organe visuel. »

En supposant que l'on admette ce principe, si l'on désigne par X le moment où le son cesse d'être perçu par l'oreille, et par Y

le moment où il est perçu par l'organe visuel, il existe évidemment un intervalle considérable, pendant lequel les vibrations vont en augmentant de vitesse de X à Y.

Il serait fort curieux de rechercher un mode de perception de X à Y.

VI.

CORRÉLATION ENTRE LE SON ET L'ÉLECTRICITÉ.

En acoustique, la cessation du son par le moyen de l'interférence est la destruction brusque des vibrations sonores.

La cause qui a produit ces vibrations (si par exemple ce sont deux flammes vibrantes), est détruite momentanément : les deux flammes qui ont été momentanément rapprochées pour produire le silence, possèdent toutes les qualités pour entrer en vibration dès qu'elles sont écartées, ces flammes étant placées dans les conditions voulues.

Dans l'interférence magnétique des aiguilles aimantées superposées, la cause est exactement pareille; seulement l'interférence a lieu par rapport à ce que l'on appelle les pôles. Elle est rendue sensible

par le raisonnement, et non directement, soit à nos organes auditifs ou visuels, comme le son ou la lumière.

Supposez une oreille magnétique, c'est-à-dire supposez que l'homme possède un organe nouveau, *capable d'entendre* ou *de voir* les vibrations magnétiques, comme il entend ou comme il voit les vibrations sonores ou lumineuses. Cet homme verra ou percevra d'une manière quelconque une aiguille aimantée, et cela tant que cette aiguille restera aimantée. Si l'on produit l'interférence, comme je l'ai indiqué précédemment, cette oreille ou ce nouvel organe, ne percevra momentanément plus aucune sensation.

L'électricité est dans les mêmes conditions.

On a même déjà comparé les ondulations de la lumière électrique dans le vide aux ondulations du son.

CONSIDÉRATIONS RELATIVES A L'ÉLECTRICITÉ

VII.

ANALYSE DE L'ÉLECTRICITÉ.

On analyse le son, la chaleur, la lumière; pourquoi n'analyserait-on pas l'électricité?

Ne pourrait-on pas donner, comme définition analytique de l'électricité, la définition suivante :

L'électricité est un mouvement vibratoire décomposable.

Comme spécimen, donnons les deux expériences suivantes, dont la seconde est nouvelle.

Expériences.

La machine de Holtz produit à volonté de l'électricité statique ou de l'électricité dynamique. N'est-ce point là une preuve que

l'électricité est un mouvement vibratoire décomposable, puisque la même machine peut en produire deux sortes. Dans ce cas-là, le réactif ou le prisme employé pour faire passer l'électricité de sa première manifestation à la seconde, est simplement la bouteille de Leyde. Remarquons également que l'électricité d'une machine électrique à plateau, passant dans un œuf électrique dans lequel on a fait le vide, se manifeste d'une manière qui se rapproche de l'électricité dynamique.



Seconde expérience (nouvelle).

On dispose sur une tablette de bois une succession plus ou moins nombreuse de vases en verre, hermétiquement fermés et contenant de l'oxygène pur.

Dans chacun de ces vases sont disposés des fils de platine offrant des solutions de continuité d'environ 1 millimètre.

Ces vases sont reliés ensemble, extérieurement, par un autre fil de platine, communiquant avec les fils de platine, placés intérieurement dans chaque vase.

Lorsqu'on fait cette expérience, on place, dans chacun des vases, une bande de papier sensibilisé par l'iodure d'amidon, destinée à faire reconnaître, par sa nuance bleuâtre plus ou moins accentuée, la quantité d'ozone plus ou moins grande formée par le passage de l'étincelle électrique.

Si l'on fait passer à travers ces vases successifs le courant d'une bobine Ruhmkorff, ou les étincelles d'une machine électrique, on observe que les papiers contenus dans les vases les plus rapprochés de la machine bleuissent davantage que ceux qui sont au milieu.

La raison doit en être que l'électricité abandonne sa propriété ozonificatrice dans les endroits les plus rapprochés de la bobine,

pour n'avoir plus au milieu, c'est-à-dire à la place la plus éloignée, que des propriétés lumineuses, calorifiques, etc., etc.

Le *quelque chose* qui a servi à ozonifier l'oxygène a donc abandonné l'électricité; et l'on ne peut pas dire que l'électricité a perdu de son intensité pour d'autres phénomènes, puisque elle est tout aussi puissante, dans les autres cas, dans les vases du milieu que dans les vases extrêmes. Elle a seulement perdu ce *quelque chose* ou *pouvoir ozonificateur*.

Donc l'électricité a perdu une propriété qui lui était inhérente.

Conséquemment, il semblerait démontré que l'électricité est un *mouvement vibratoire décomposable*.

Paris, juin 1875.

TABLE DES MATIÈRES

Paris. — Typ. A. PARENT, rue Monsieur-le-Prince, 29 et 31.





